

対応なし、英抄

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-328313

(P2002-328313A)

(43) 公開日 平成14年11月15日 (2002. 11. 15)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

キーワード(参考)

G 0 2 B 26/02

G 0 2 B 26/02

E 2 H 0 4 1

B 8 1 B 5/00

B 8 1 B 5/00

2 H 0 4 8

B 8 1 C 1/00

B 8 1 C 1/00

G 0 2 B 5/28

G 0 2 B 5/28

審査請求 未請求 請求項の数33 O L (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願2001-134564 (P2001-134564)

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 35 号

(22) 出願日 平成13年 5 月 1 日 (2001. 5. 1)

(72) 発明者 牧野 拓也

東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 35 号 ソニー株式会社内

(72) 発明者 石川 博一

東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 35 号 ソニー株式会社内

(74) 代理人 100098785

弁理士 藤島 洋一郎

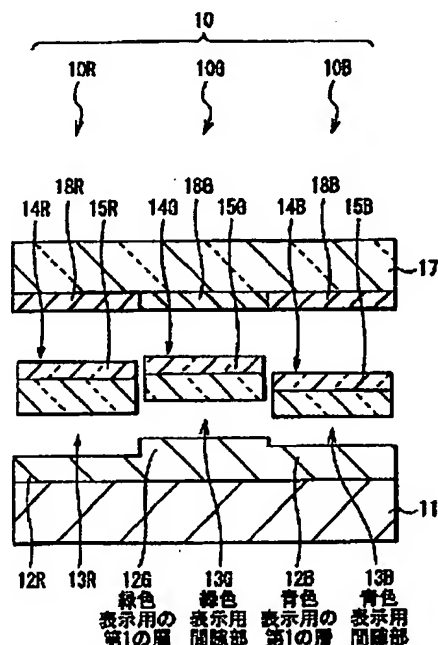
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光スイッチング素子およびその製造方法、並びに画像表示装置

(57) 【要約】

【課題】 簡単な構成で、小型軽量であると共に、速い動きの動画表示が求められる直視・反射型画像表示装置にも好適に用いることができる高速応答可能なカラー表示用の光スイッチング素子を提供する。

【構成】 光スイッチング素子 10 は、基板 11 の上に、赤色、緑色、青色表示用光学多層構造体 10R、10G、10B を有する。各層（または間隙部）の膜厚（または大きさ）は各色で異なり、グレースケールマスクまたはリフトオフ法を用いて形成される。赤色、緑色、青色表示用間隙部 13R、13G、13B の大きさを变化させることにより、入射した光の反射、透過若しくは吸収の量を変化させ、カラー表示を行う。基板 11 は例えばカーボン (C)、第 1 の層 12R、12G、12B は例えばタンタル (Ta)、第 2 の層 14R、14G、14B は例えば窒化珪素 (SiN_x) により形成される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に、光の吸収のある赤色表示用の第1の層、光の干渉現象を起こしうる大きさを有すると共にその大きさが可変な赤色表示用間隙部、および赤色表示用の第2の層を配設した構造を有する赤色表示用光学多層構造体と、

前記基板上に、光の吸収のある緑色表示用の第1の層、光の干渉現象を起こし得る大きさを有すると共にその大きさが可変な緑色表示用間隙部、および緑色表示用の第2の層を配設した構造を有する緑色表示用光学多層構造体と、

前記基板上に、光の吸収のある青色表示用の第1の層、光の干渉現象を起こし得る大きさを有すると共にその大きさが可変な青色表示用間隙部、および青色表示用の第2の層を配設した構造を有する青色表示用光学多層構造体と、

前記赤色表示用間隙部、前記緑色表示用間隙部または前記青色表示用間隙部の光学的な大きさを変化させる駆動手段とを有し、

前記駆動手段によって前記赤色表示用間隙部、前記緑色表示用間隙部または前記青色表示用間隙部の大きさを変化させることにより、入射した光の反射、透過もしくは吸収の量を変化させることを特徴とする光スイッチング素子。

【請求項2】 前記赤色表示用光学多層構造体においては、前記基板上に、前記赤色表示用の第1の層、前記赤色表示用間隙部および前記赤色表示用の第2の層がこの順で配設され、

前記緑色表示用光学多層構造体においては、前記基板上に、前記緑色表示用の第1の層、前記緑色表示用間隙部および前記緑色表示用の第2の層がこの順で配設され、前記青色表示用光学多層構造体においては、前記基板上に、前記青色表示用の第1の層、前記青色表示用間隙部および前記青色表示用の第2の層がこの順で配設されていることを特徴とする請求項1記載の光スイッチング素子。

【請求項3】 前記基板は、光の吸収のある基板もしくは光の吸収のある薄膜を成膜した基板であることを特徴とする請求項1記載の光スイッチング素子。

【請求項4】 前記基板はカーボンからなることを特徴とする請求項1記載の光スイッチング素子。

【請求項5】 前記赤色表示用の第2の層、前記緑色表示用の第2の層および前記青色表示用の第2の層は、透明材料により形成されたものであることを特徴とする請求項1記載の光スイッチング素子。

【請求項6】 前記駆動手段によって、前記赤色表示用間隙部、前記緑色表示用間隙部または前記青色表示用間隙部の光学的な大きさを、 $\lambda/4$ の奇数倍と $\lambda/4$ の偶数倍（0を含む）との間で、2値的あるいは連続的に変化させることで、入射光の反射、透過もしくは吸収の量

を2値的あるいは連続的に変化させることを特徴とする請求項1記載の光スイッチング素子。

【請求項7】 前記赤色表示用の第1の層、前記緑色表示用の第1の層および前記青色表示用の第1の層と前記赤色表示用の第2の層、前記緑色表示用の第2の層および前記青色表示用の第2の層とのうちの少なくとも一方は、互いに光学的特性の異なる2以上の層により構成された複合層であることを特徴とする請求項1記載の光スイッチング素子。

【請求項8】 前記赤色表示用の第2の層、前記緑色表示用の第2の層および前記青色表示用の第2の層は、窒化ケイ素（SiN_x）膜よりなることを特徴とする請求項5記載の光スイッチング素子。

【請求項9】 前記赤色表示用の第2の層、前記緑色表示用の第2の層および前記青色表示用の第2の層は、窒化ケイ素（SiN_x）膜および透明導電膜よりなることを特徴とする請求項8記載の光スイッチング素子。

【請求項10】 前記赤色表示用の第1の層、前記緑色表示用の第1の層および前記青色表示用の第1の層と前記赤色表示用の第2の層、前記緑色表示用の第2の層および前記青色表示用の第2の層とのうちの少なくとも一方は、一部に透明導電膜を含み、前記駆動手段は、前記透明導電膜への電圧の印加によって発生した静電力により、前記赤色表示用間隙部、前記緑色表示用間隙部または前記青色表示用間隙部の光学的な大きさを変化させるものであることを特徴とする請求項1記載の光スイッチング素子。

【請求項11】 前記透明導電膜は、ITO、SnO₂、およびZnOのうちのいずれかにより形成されていることを特徴とする請求項10記載の光スイッチング素子。

【請求項12】 前記赤色表示用の第1の層、前記緑色表示用の第1の層および前記青色表示用の第1の層は、金属、酸化金属、窒化金属、炭化物および半導体のうちのいずれかからなることを特徴とする請求項1記載の光スイッチング素子。

【請求項13】 前記赤色表示用の第1の層、前記緑色表示用の第1の層および前記青色表示用の第1の層はタンタル（Ta）からなることを特徴とする請求項1記載の光スイッチング素子。

【請求項14】 前記基板はカーボンからなり、前記赤色表示用の第1の層、前記緑色表示用の第1の層および前記青色表示用の第1の層はタンタル（Ta）からなり、前記赤色表示用の第2の層、前記緑色表示用の第2の層および前記青色表示用の第2の層は窒化ケイ素（SiN_x）膜とITOからなる透明導電膜とからなることを特徴とする請求項1記載の光スイッチング素子。

【請求項15】 前記基板は、赤色表示用の第1の層と同じ3次元形状を有する第1の凹部と、緑色表示用の第1の層と同じ3次元形状を有する第2の凹部と、青色表示用の第1の層と同じ3次元形状を有する第3の凹部と

を有し、
前記赤色表示用の第1の層は、前記第1の凹部に埋め込まれ、
前記緑色表示用の第1の層は、前記第2の凹部に埋め込まれ、
前記青色表示用の第1の層は、前記第3の凹部に埋め込まれていることを特徴とする請求項1記載の光スイッチング素子。

【請求項16】 基板上に、互いに膜厚の異なる赤色表示用の第1の層、緑色表示用の第1の層および青色表示用の第1の層を、第1のグレースケールマスクを用いて形成する工程と、

前記赤色表示用の第1の層、前記緑色表示用の第1の層および前記青色表示用の第1の層の上に、犠牲層として、互いに大きさの異なる赤色表示用間隙部、緑色表示用間隙部および青色表示用間隙部に対応する3次元形状を有する非晶質シリコン(a-Si)膜を、第2のグレースケールマスクを用いて形成する工程と、

前記非晶質シリコン膜の上に、互いに膜厚の異なる赤色表示用の第2の層、緑色表示用の第2の層および青色表示用の第2の層を、第3のグレースケールマスクを用いて形成する工程と、

前記非晶質シリコン膜をエッチングにより除去することによって、互いに大きさの異なる前記赤色表示用間隙部、前記緑色表示用間隙部および前記青色表示用間隙部を形成する工程とを含むことを特徴とする光スイッチング素子の製造方法。

【請求項17】 更に、前記赤色表示用の第2の層、緑*

$$T_{r1} = R_{r1} \cdot D_{r1}$$

(ただし、 R_{r1} は前記金属膜のエッチングレートに対する前記第1のフォトレジスト膜のエッチングレートの比を表し、 D_{r1} は感光後の前記第1のフォトレジスト膜のうち最も膜厚の小さい部分と、この最も膜厚の小さい部分以外の部分との膜厚の差を表す)ことを特徴とする請求項19記載の光スイッチング素子の製造方法。

【請求項21】 前記非晶質シリコン(a-Si)膜を形成する工程は、

前記赤色表示用の第1の層、前記緑色表示用の第1の層および前記青色表示用の第1の層の上に、犠牲層としての非晶質シリコン(a-Si)膜を形成する工程と、

この非晶質シリコン膜の上に第2のフォトレジスト膜を※

$$T_{r2} = R_{r2} \cdot D_{r2}$$

(ただし、 R_{r2} は前記非晶質シリコン膜のエッチングレートに対する前記第2のフォトレジスト膜のエッチングレートの比を表し、 D_{r2} は感光後の前記第2のフォトレジスト膜のうち最も膜厚の小さい部分と、この最も膜厚の小さい部分以外の部分との膜厚の差を表す)ことを特徴とする請求項21記載の光スイッチング素子の製造方法。

【請求項23】 前記赤色表示用の第2の層、前記緑色

*色表示用の第2の層および青色表示用の第2の層の上に、赤色表示用透明導電膜、緑色表示用透明導電膜および青色表示用透明導電膜をそれぞれ形成する工程を含むことを特徴とする請求項16記載の光スイッチング素子の製造方法。

【請求項18】 更に、前記赤色表示用光学多層構造体、前記緑色表示用光学多層構造体および前記青色表示用光学多層構造体のそれぞれに対して、カバーガラスを接合するための一対のスペーサを形成する工程を含むことを特徴とする請求項18記載の光スイッチング素子の製造方法。

【請求項19】 前記赤色表示用の第1の層、前記緑色表示用の第1の層および前記青色表示用の第1の層を形成する工程は、

基板上に金属膜を形成する工程と、

この金属膜の上に第1のフォトレジスト膜を形成し、この第1のフォトレジスト膜を第1のグレースケールマスクを用いて感光させることにより3次元形状に加工する工程と、

前記金属膜および前記第1のフォトレジスト膜を合わせてエッチングすることにより、互いに膜厚の異なる赤色表示用の第1の層、緑色表示用の第1の層および青色表示用の第1の層を形成する工程とを含むことを特徴とする請求項16記載の光スイッチング素子の製造方法。

【請求項20】 前記第1のフォトレジスト膜を感光させる工程において、感光後の前記第1のフォトレジスト膜の膜厚 T_{r1} は、次式(1)の関係を満たす

$$(1)$$

30※形成し、この第2のフォトレジスト膜を第2のグレースケールマスクを用いて感光させることにより3次元形状に加工する工程と、

前記非晶質シリコン膜および前記第2のフォトレジスト膜を合わせてエッチングすることにより、互いに大きさの異なる赤色表示用間隙部、緑色表示用間隙部および青色表示用間隙部を形成するために前記非晶質シリコン層を3次元形状に加工する工程とを含むことを特徴とする請求項16記載の光スイッチング素子の製造方法。

【請求項22】 前記第2のフォトレジスト膜を感光させる工程において、感光後の前記第2のフォトレジスト膜の膜厚 T_{r2} は、次式(2)の関係を満たす

$$(2)$$

表示用の第2の層および前記青色表示用の第2の層を形成する工程は、

前記非晶質シリコン膜の上に窒化ケイ素膜を形成する工程と、

この窒化ケイ素膜の上に第3のフォトレジスト膜を形成し、この第3のフォトレジスト膜を第3のグレースケールマスクを用いて感光させることにより3次元形状に加工する工程と、

前記窒化ケイ素膜および前記第3のフォトレジスト膜を合わせてエッチングすることにより、互いに膜厚の異なる赤色表示用の第2の層、緑色表示用の第2の層および青色表示用の第2の層を形成する工程とを含むことを特徴とする請求項16記載の光スイッチング素子の製造方法*

$$T_{r,j} = R_{r,j} \cdot D_{r,j}$$

(ただし、 $R_{r,j}$ は前記窒化ケイ素膜のエッチングレートに対する前記第3のフォトレジスト膜のエッチングレートの比を表し、 $D_{r,j}$ は感光後の前記第3のフォトレジスト膜のうち最も膜厚の小さい部分と、この最も膜厚の小さい部分以外の部分との膜厚の差を表す)ことを特徴とする請求項23記載の光スイッチング素子の製造方法。

【請求項25】 前記赤色表示用の第1の層、前記緑色表示用の第1の層および前記青色表示用の第1の層を形成する工程は、

前記基板上に、前記赤色表示用の第1の層と同じ3次元形状を有する第1の凹部と、前記緑色表示用の第1の層と同じ3次元形状を有する第2の凹部と、前記青色表示用の第1の層と同じ3次元形状を有する第3の凹部とを形成する工程と、

前記赤色表示用の第1の層、前記緑色表示用の第1の層および前記青色表示用の第1の層を、前記第1の凹部、前記第2の凹部および前記第3の凹部に埋め込まれるように形成する工程と、

CMP法を用いて、前記赤色表示用の第1の層、前記緑色表示用の第1の層および前記青色表示用の第1の層を所望の膜厚に成形し平坦化する工程とを含むことを特徴とする請求項16記載の光スイッチング素子の製造方法。

【請求項26】 基板上に、互いに膜厚の異なる赤色表示用の第1の層、緑色表示用の第1の層および青色表示用の第1の層を、リフトオフ法を用いて形成する工程と、

前記赤色表示用の第1の層、前記緑色表示用の第1の層および前記青色表示用の第1の層の上に、犠牲層として、互いに大きさの異なる赤色表示用間隙部、緑色表示用間隙部および青色表示用間隙部に対応する3次元形状を有する非晶質シリコン(a-Si)膜を、リフトオフ法を用いて形成する工程と、

前記非晶質シリコン膜の上に、互いに膜厚の異なる赤色表示用の第2の層、緑色表示用の第2の層および青色表示用の第2の層を、リフトオフ法を用いて形成する工程と、

前記非晶質シリコン膜をエッチングにより除去することによって、互いに大きさの異なる前記赤色表示用間隙部、前記緑色表示用間隙部および前記青色表示用間隙部を形成する工程とを含むことを特徴とする光スイッチング素子の製造方法。

【請求項27】 更に、前記赤色表示用の第2の層、緑色表示用の第2の層および青色表示用の第2の層の上に、赤色表示用透明導電膜、緑色表示用透明導電膜およ

*法。

【請求項24】 前記第3のフォトレジスト膜を感光させる工程において、感光後の前記第3のフォトレジスト膜の膜厚 $T_{r,j}$ は、次式(3)の関係を満たす

$$(3)$$

び青色表示用透明導電膜をそれぞれ形成する工程を含むことを特徴とする請求項28記載の光スイッチング素子の製造方法。

10 【請求項28】 更に、前記赤色表示用光学多層構造体、前記緑色表示用光学多層構造体および前記青色表示用光学多層構造体のそれぞれに対して、カバーガラスを接合するための一对のスペーサを形成する工程を含むことを特徴とする請求項28記載の光スイッチング素子の製造方法。

【請求項29】 前記赤色表示用の第1の層、前記緑色表示用の第1の層および前記青色表示用の第1の層を形成する工程は、

20 前記基板上に、リフトオフ法を用いて、所望の膜厚を有する前記赤色表示用の第1の層を形成する工程と、前記基板上に、リフトオフ法を用いて、所望の膜厚を有する前記緑色表示用の第1の層を形成する工程と、前記基板上に、リフトオフ法を用いて、所望の膜厚を有する前記青色表示用の第1の層を形成する工程とを含むことを特徴とする請求項26記載の光スイッチング素子の製造方法。

【請求項30】 前記非晶質シリコン(a-Si)膜を形成する工程は、

30 前記赤色表示用の第1の層の上に、リフトオフ法を用いて、前記赤色表示用間隙部の大きさに等しい膜厚を有する第1の非晶質シリコン膜を形成する工程と、前記緑色表示用の第1の層の上に、リフトオフ法を用いて、前記緑色表示用間隙部の大きさに等しい膜厚を有する第2の非晶質シリコン膜を形成する工程と、前記青色表示用の第1の層の上に、リフトオフ法を用いて、前記青色表示用間隙部の大きさに等しい膜厚を有する第3の非晶質シリコン膜を形成する工程とを含むことを特徴とする請求項26記載の光スイッチング素子の製造方法。

40 【請求項31】 前記赤色表示用の第2の層、前記緑色表示用の第2の層および前記青色表示用の第2の層を形成する工程は、

前記非晶質シリコン膜の上に、リフトオフ法を用いて、所望の膜厚を有する前記赤色表示用の第2の層を形成する工程と、

前記非晶質シリコン膜の上に、リフトオフ法を用いて、所望の膜厚を有する前記緑色表示用の第2の層を形成する工程と、

50 前記非晶質シリコン膜の上に、リフトオフ法を用いて、所望の膜厚を有する前記青色表示用の第2の層を形成す

る工程とを含むことを特徴とする請求項26記載の光スイッチング素子の製造方法。

【請求項32】 前記赤色表示用の第1の層、前記緑色表示用の第1の層および前記青色表示用の第1の層を形成する工程は、

前記基板に、前記赤色表示用の第1の層と同じ3次元形状を有する第1の凹部と、前記緑色表示用の第1の層と同じ3次元形状を有する第2の凹部と、前記青色表示用の第1の層と同じ3次元形状を有する第3の凹部とを形成する工程と、

前記赤色表示用の第1の層、前記緑色表示用の第1の層および前記青色表示用の第1の層を、前記第1の凹部、前記第2の凹部および前記第3の凹部に埋め込まれるように形成する工程と、

CMP法を用いて、前記赤色表示用の第1の層、前記緑色表示用の第1の層および前記青色表示用の第1の層を所望の膜厚に成形し平坦化する工程とを含むことを特徴とする請求項26記載の光スイッチング素子の製造方法。

【請求項33】 1次元または2次元に配列された複数の光スイッチング素子に光を照射することで2次元画像をカラー表示する画像表示装置であって、

前記光スイッチング素子が、

基板上に、光の吸収のある赤色表示用の第1の層、光の干渉現象を起こしうる大きさを有すると共にその大きさが可変な赤色表示用間隙部、および赤色表示用の第2の層を配設した構造を有する赤色表示用光学多層構造体と、

前記基板上に、光の吸収のある緑色表示用の第1の層、光の干渉現象を起こし得る大きさを有すると共にその大きさが可変な緑色表示用間隙部、および緑色表示用の第2の層を配設した構造を有する緑色表示用光学多層構造体と、

前記基板上に、光の吸収のある青色表示用の第1の層、光の干渉現象を起こし得る大きさを有すると共にその大きさが可変な青色表示用間隙部、および青色表示用の第2の層を配設した構造を有する青色表示用光学多層構造体と、

前記赤色表示用間隙部、前記緑色表示用間隙部または前記青色表示用間隙部の光学的な大きさを変化させる駆動手段とを備えたことを特徴とする画像表示装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、入射光を反射、透過若しくは吸収させる機能を有する光学多層構造体を用いてカラー画像を表示するための光スイッチング素子およびその製造方法、並びに画像表示装置に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、直視・反射型の画像表示装置は、情報携帯機器の小型化・省電力化のキーデバイスとなっている。また、この種の情報携帯機器においては、これ

まで文字情報等の白黒の静止画の表示が中心であったが、カラー画像表示および動画表示に対する要求が非常に高まってきている。しかも、カラー画像表示の品質、例えば明るさ、色再現性、階調表示の正確さなどに対する要求も非常に厳しく、色がついているだけのような画像ではこのような要求を満たすことができなくなってきている。そのため、このような要求に応えることのできる直視・反射型画像表示装置用の素子として、高速応答可能であるとともにフルカラー表示に対応できる光スイッチング素子の開発が要望されている。

【0003】従来の光スイッチング素子としては、液晶を用いたもの、マイクロミラーを用いたもの(DMD: Digital Micro Mirror Device、デジタルマイクロミラーデバイス、テキサスインスツルメンツ社の登録商標)、回折格子を用いたもの(GLV: Grating Light Valve、グレーティングライトバルブ、SLM(シリコンライトマシン)社)等がある。

【0004】液晶を用いた従来の反射型画像表示装置は、ガラスからなる上部基板と、シリコンまたはガラスからなる下部基板との間に液晶分子が封入された構造になっており、上部透明電極と下部電極との間に電圧を印加し、液晶分子の方向を制御して偏向面を回転させることにより光スイッチングを行うものである。

【0005】しかしながら、液晶は応答速度が速いものでも数ミリ秒程度でしかなく、高速応答特性が弱い。そのため、液晶を用いた従来の反射型画像表示装置は、速い動きの動画表示を行った際、輪郭がぼやけてしまって精確な表示ができないという問題がある。また、液晶を用いた反射型画像表示装置は、偏光板を必要とするため、光の利用効率が低い。さらに、液晶を用いた反射型画像表示装置は、現状では白黒表示が主流であり、カラー画像表示装置としての明るさ、色再現性、階調表示の精確さという点で十分満足できるものは実用化されていない。

【0006】マイクロミラーを用いた光スイッチング素子は、マイクロミラーの角度を制御することにより入射光をスイッチングするものである。マイクロミラーを用いた光スイッチング素子は、DMD(Digital Micro Mirror Device、デジタルマイクロミラーデバイス、米国テキサスインスツルメンツ社の登録商標)に代表されるように、既に多くの実施例を有している。マイクロミラーは、大きく分けて一点で支持される片持ち梁構造と二点で支持される振れヒンジ構造との二種類に分類され、静電力、圧電素子、熱アクチュエータなどを利用して駆動される。

【0007】片持ち梁構造の場合、各マイクロミラーは基板に対して水平な状態で支持され、マイクロミラーとこれに対応する駆動電極との間に電位差を与えると、静電引力が発生し、そのマイクロミラーが対応する駆動電極に向かって傾斜する。傾斜したマイクロミラーと傾斜

10

20

30

40

50

していないマイクロミラーとは入射光を異なる角度で反射させるので、これにより入射光を二方向にスイッチングすることができる。マイクロミラーと駆動電極との間に与えた電位差を取り除くと、マイクロミラーを支持しているヒンジ部のばね力によって、マイクロミラーは元の位置に復帰する。

【0008】一方、振れヒンジ構造のマイクロミラーでは、各マイクロミラーが一对のヒンジ部により共通の上部基板に支持されている。下部基板には、各マイクロミラーに対応させて、それぞれ一对の電極が設けられている。各マイクロミラーと一对の電極のうちの一方の電極との間、およびそのマイクロミラーと他方の電極との間には、同じ電位差を生じさせており、これにより、そのマイクロミラーは下部基板に対して水平に保たれている。

【0009】ここで、例えば一方の電極に加える電圧を大きくし、他方の電極に加える電圧を小さくすることによって、マイクロミラーと対応する一对の電極のそれぞれとの間に生じる静電引力に不釣り合いを生じさせ、マイクロミラーを一对の電極のうちのどちらかに向かって傾ける。これにより、マイクロミラーは異なる二方向のうちのどちらかに傾くことになるので、入射光を異なる二方向に反射させてスイッチングすることができる。このようなマイクロミラーにおいては、光を偏向できる角度、すなわち、二方向の反射光の角度の差が機械的なミラーの振れ角の二倍となり、偏向できる角度が大きくなる。

【0010】しかしながら、このようなマイクロミラーの応答速度は一般に数マイクロ秒程度であり、高速性が十分ではない。また、画像表示装置に用いる場合には、コントラストを向上させるために光を偏向できる角度を増大させる必要があり、そのため応答速度が一層低下するという問題がある。したがって、マイクロミラーを用いた光スイッチング素子は、プロジェクション型の画像表示装置には既に用いられているが、直視型の画像表示装置への適用は困難である。

【0011】また、回折格子を用いた光スイッチング素子として、例えば特表平10-510374号公報に開示されたGLV (Grating Light Valve, グレーティングライトバルブ, SLM (シリコンライトマシン) 社) がある。このGLVにおいては、光反射面を持つリボン状のミラーと下部電極との間に電位差を生じさせ、これにより発生する静電引力によって、リボン状ミラーを入射光の波長の $1/4$ 動かし、こうして、静止状態のリボン状ミラーと可動リボン状ミラーとの間に $1/2$ 波長分の光路差を作り出すことにより回折光を生じさせ、反射光を0次回折光方向と1次回折光方向とにスイッチングする。このとき、光路差を $1/2$ 波長までの範囲で制御することにより、1次回折光の強度をコントロールすることも可能である。

【0012】GLVは、非常に軽いリボン状ミラーを小さい距離動かすだけで光のスイッチングを行うことができるので、応答速度が数十ナノ秒と速く、高速スイッチングに適しているが、以下のようないくつかの問題も有している。

【0013】第1に、光の回折を生じさせるためには少なくとも二本のリボン状ミラーが必要であり、光の利用効率を高めるためには四本以上、現実的には六本のリボン状ミラーが必要となる。したがって、1次元に配列して用いた場合、全体の小型化が困難となる。

【0014】第2に、1次回折光は、0次回折光の光軸に対称な二方向に対してある角度をもって生じるので、1次回折光を利用するためにはこの二方向に進む光を集めて一本にするための複雑な光学系が必要となる。

【0015】第3に、電極に電圧を加えない状態では、静止状態のリボン状ミラーの反射面と可動リボン状ミラーの反射面とは理想的には同一平面上にあるはずであるが、実際には同一平面上に描かない。したがって、下部電極にそれぞれ小さい電圧を加えてすべてのミラーの反射面が同一平面上に揃うよう調整が必要となる。

【0016】第4に、GLVは、光源としてレーザを用い、一次元アレイ状に集積されたスイッチング素子にライン状に成形した光を照射し、その光をミラー等でスキャンすることによって2次元画像を得るようにしたプロジェクション型の画像表示装置には適しているが、レーザ以外の光源を用いたり、直視型の画像表示装置に用いることは原理的に非常に困難である。

【0017】より簡単な構成で実現できるものとしては、米国特許公報5589974号や米国特許公報5500761号に開示されたものがある。このライトバルブは、基板(屈折率 n_s)の上に間隙部(ギャップ層)を挟んで、屈折率が $\sqrt{n_s}$ の透光性の薄膜を設けた構造を有している。この素子では、静電力を利用して薄膜を駆動し、基板と薄膜との間の距離、すなわち、間隙部の大きさを変化させることにより、光信号を透過あるいは反射させるものである。ここで、薄膜の屈折率は基板の屈折率 n_s に対して、 $\sqrt{n_s}$ となっており、このような関係を満たすことにより、高コントラストの光変調を行うことができるとされている。

【0018】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述のような構成の素子では、基板の屈折率 n_s が「4」などの大きな値でなければ、可視光領域においては実現することはできないという問題がある。すなわち、透光性薄膜としては、構造体であることを考えると、窒化珪素(Si_3N_4) (屈折率 $n=2.0$)などの材料が望ましいので、その場合には基板の屈折率 $n_s=4$ となる。可視光領域では、このような透明基板は入手が困難であり、材料の選択肢は狭い。赤外線等の通信用波長では、ゲルマニウム(Ge) ($n=4$) などを用いることによ

り実現可能であるが、直視・反射型画像表示装置への適用は現実的には難しいと思われる。

【0019】そこで、本出願人と同一出願人は、先に、基板上に、光の吸収のある第1の層、光の干渉現象を起こし得る大きさを有すると共にその大きさが可変な間隙部、および第2の層を配設した構造を有する光学多層構造体、これを用いた光スイッチング素子および画像表示装置を提案した(特願2000-219599明細書)。この光学多層構造体は、基板上に、第1の層、間隙部および第2の層をこの順で配設した構成のものであ*10

$$\left\{ \left(m - \frac{n_1^2 + 1}{2} \right)^2 + k_1^2 - \left(\frac{n_2^2 - 1}{2} \right)^2 \right\} \left\{ \left(n_3 - \frac{n_4^2 + 1}{2} \right)^2 + k_4^2 - \left(\frac{n_5^2 - 1}{2} \right)^2 \right\} < 0$$

... (4)

【0021】上記の光学多層構造体を用いることにより、2次元の画像表示装置を構成するのに十分な高速応答が可能で、かつ原理的に単純な構造で光スイッチング素子を実現することができる。更に、光の反射と吸収とを切り替えることができるので、画像表示装置を実現する上で問題となる不要な光の処理を極めて簡単に行うことができる。したがって、この光スイッチング素子は直視・反射型の画像表示装置に好適に用いることができる。

【0022】しかしながら、この光スイッチング素子は、設計波長に対して広い波長域での光スイッチングが可能であり、換言すれば、特性が非常にブロードバンドになる。したがって、この光スイッチング素子をそのままフルカラーの画像表示装置に用いると、色再現性の非常に悪いものになってしまう。このような色再現性の問題は、液晶を用いた直視・反射型画像表示装置の場合と同様に、光スイッチング素子を封止する際用いるカバーガラス上にカラーフィルタを形成することで解決可能である。この際、カラーフィルタから光の反射面までの距離を小さくすることで、反射型液晶に見られるような、見る角度によって発生する色ずれ等を小さくすることができる。

【0023】上記の光スイッチング素子をフルカラーの画像表示装置に適用する際の別の問題として、RGB各色に対して最適設計を行うと、厚さ方向の寸法が上部電極層をのぞくすべての層で色毎に異なることになるので、通常の作製プロセスを採用することが困難になるということが挙げられる。

【0024】本発明はかかる問題点に鑑みてなされたもので、その第1の目的は、簡単な構成で、小型軽量であると共に、特に、速い動きの動画表示が求められる直視・反射型の画像表示装置に好適に用いることができる高速応答可能な光スイッチング素子を提供することにある。

【0025】また、本発明の第2の目的は、各層の厚さ方向の寸法が異なる複数の光学多層構造体を通常の製造

する。また、この光学多層構造体では、基板の複素屈折率を N_s ($= n_s - i \cdot k_s$ 、 n_s は屈折率、 k_s は消衰係数、 i は虚数単位)、第1の層の複素屈折率を N_1 ($= n_1 - i \cdot k_1$ 、 n_1 は屈折率、 k_1 は消衰係数)、第2の層の屈折率を n_2 、入射媒質の屈折率を1.0としたとき、次式(4)の関係を満たすように構成されている。

【0020】

【数1】

プロセスで共通の基板に作製することにより、カラー表示用の光スイッチング素子を簡単な工程で実現できる光スイッチング素子の製造方法を提供することにある。

【0026】本発明の第3の目的は、小型軽量かつ省電力であるとともに、光利用効率が高く、高品質フルカラー表示および速い動きの動画表示が可能な画像表示装置を提供することにある。

【0027】

【課題を解決するための手段】本発明による光スイッチング素子は、基板上に、光の吸収のある赤色表示用の第1の層、光の干渉現象を起こしうる大きさを有すると共にその大きさが可変な赤色表示用間隙部、および赤色表示用の第2の層を配設した構造を有する赤色表示用光学多層構造体と、基板上に、光の吸収のある緑色表示用の第1の層、光の干渉現象を起こし得る大きさを有すると共にその大きさが可変な緑色表示用間隙部、および緑色表示用の第2の層を配設した構造を有する緑色表示用光学多層構造体と、基板上に、光の吸収のある青色表示用の第1の層、光の干渉現象を起こし得る大きさを有すると共にその大きさが可変な青色表示用間隙部、および青色表示用の第2の層を配設した構造を有する青色表示用光学多層構造体と、赤色表示用間隙部、緑色表示用間隙部または青色表示用間隙部の光学的な大きさを変化させる駆動手段とを有し、駆動手段によって赤色表示用間隙部、緑色表示用間隙部または青色表示用間隙部の大きさを変化させることにより、入射した光の反射、透過もしくは吸収の量を変化させるものである。

【0028】本発明による光スイッチング素子の製造方法は、基板上に、互いに膜厚の異なる赤色表示用の第1の層、緑色表示用の第1の層および青色表示用の第1の層を、第1のグレースケールマスクを用いて形成する工程と、赤色表示用の第1の層、緑色表示用の第1の層および青色表示用の第1の層の上に、犠牲層として、互いに大きさの異なる赤色表示用間隙部、緑色表示用間隙部および青色表示用間隙部に対応する3次元形状を有する非晶質シリコン(a-Si)膜を、第2のグレースケール

ルマスクを用いて形成する工程と、非晶質シリコン膜の上に、互いに膜厚の異なる赤色表示用の第2の層、緑色表示用の第2の層および青色表示用の第2の層を、第3のグレースケールマスクを用いて形成する工程と、非晶質シリコン膜をエッチングにより除去することによって、互いに大きさの異なる赤色表示用間隙部、緑色表示用間隙部および青色表示用間隙部を形成する工程とを含むものである。

【0029】本発明による他の光スイッチング素子の製造方法は、基板上に、互いに膜厚の異なる赤色表示用の第1の層、緑色表示用の第1の層および青色表示用の第1の層を、リフトオフ法を用いて形成する工程と、赤色表示用の第1の層、緑色表示用の第1の層および青色表示用の第1の層の上に、犠牲層として、互いに大きさの異なる赤色表示用間隙部、緑色表示用間隙部および青色表示用間隙部に対応する3次元形状を有する非晶質シリコン(a-Si)膜を、リフトオフ法を用いて形成する工程と、非晶質シリコン膜の上に、互いに膜厚の異なる赤色表示用の第2の層、緑色表示用の第2の層および青色表示用の第2の層を、リフトオフ法を用いて形成する工程と、非晶質シリコン膜をエッチングにより除去することによって、互いに大きさの異なる赤色表示用間隙部、緑色表示用間隙部および青色表示用間隙部を形成する工程とを含むものである。

【0030】本発明による画像表示装置は、1次元または2次元に配列された複数の光スイッチング素子に光を照射することで2次元画像をカラー表示するものであって、光スイッチング素子が、基板上に、光の吸収のある赤色表示用の第1の層、光の干渉現象を起こしうる大きさを有すると共にその大きさが可変な赤色表示用間隙部、および赤色表示用の第2の層を配設した構造を有する赤色表示用光学多層構造体と、基板上に、光の吸収のある緑色表示用の第1の層、光の干渉現象を起こし得る大きさを有すると共にその大きさが可変な緑色表示用間隙部、および緑色表示用の第2の層を配設した構造を有する緑色表示用光学多層構造体と、基板上に、光の吸収のある青色表示用の第1の層、光の干渉現象を起こし得る大きさを有すると共にその大きさが可変な青色表示用間隙部、および青色表示用の第2の層を配設した構造を有する青色表示用光学多層構造体と、赤色表示用間隙部、緑色表示用間隙部または青色表示用間隙部の光学的な大きさを変化させる駆動手段とを備えたものである。

【0031】本発明による光スイッチング素子では、駆動手段によって、赤色、緑色、青色表示用光学多層構造体の赤色、緑色、青色表示用間隙部の光学的な大きさが変化することにより、入射光に対してスイッチング動作がなされ、カラー表示が実現できる。

【0032】本発明による光スイッチング素子の製造方法では、第1、第2、第3のグレースケールマスクを用いるようにしたので、工程数を減少させることができ、

各層(または間隙部)の膜厚(または大きさ)が各色で異なる赤色、緑色、青色表示用光学多層構造体を容易に精度良く形成できる。

【0033】本発明による光スイッチング素子の他の製造方法では、リフトオフ法を用いるようにしたので、通常の製造プロセスの繰り返しによる製造が可能となるとともに、プロセス条件の設定が容易になる。

【0034】本発明による画像表示装置では、1次元あるいは2次元に配列された本発明の複数の光スイッチング素子に対して光が照射されることによって2次元カラー画像が表示される。

【0035】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

【0036】(第1の実施の形態)図1および図2は、本発明の第1の実施の形態に係る光スイッチング素子の概略を表している。この光スイッチング素子10は、例えばPDA(Personal Digital Assistant)、携帯電話などの情報携帯機器のフルカラーディスプレイに用いられるものである。

【0037】光スイッチング素子10は、赤色表示用光学多層構造体10R、緑色表示用光学多層構造体10G、青色表示用光学多層構造体10Bを一つずつ有しており、これによりカラー表示に対応することができる。赤色、緑色、青色表示用光学多層構造体10R、10G、10Bは、基板11上に一方向に配列されている。この光スイッチング素子10の平面形状における寸法は、例えば5インチSVGA、800×600ピクセルの直視・反射型画像表示装置の場合であれば、縦147μm×横147μmに収まっている。

【0038】赤色表示用光学多層構造体10Rは、基板11上に、この基板11に接して形成された、光の吸収のある赤色表示用の第1の層12R、光の干渉現象を起こし得る大きさを有するとともにその大きさを変化させることのできる赤色表示用間隙部13R、および赤色表示用の第2の層14Rをこの順で配設して構成したものである。

【0039】緑色表示用光学多層構造体10Gは、基板11上に、この基板11に接して形成された、光の吸収のある緑色表示用の第1の層12G、光の干渉現象を起こし得る大きさを有するとともにその大きさを変化させることのできる緑色表示用間隙部13G、および緑色表示用の第2の層14Gをこの順で配設して構成したものである。

【0040】また、青色表示用光学多層構造体10Bは、基板11上に、この基板11に接して形成された、光の吸収のある青色表示用の第1の層12B、光の干渉現象を起こし得る大きさを有するとともにその大きさを変化させることのできる青色表示用間隙部13B、および青色表示用の第2の層14Bをこの順で配設して構成

したものである。

【0041】赤色、緑色、青色表示用光学多層構造体10R、10G、10Bの上方には、図1に示したように、例えば酸化ケイ素(SiO₂)からなるスペーサ16を介して共通のカバーガラス17が接合されている。図を分かりやすくするため、このカバーガラス17は一部切り欠いて示している。なお、このカバーガラス17は、この光スイッチング素子10を2次元に多数配設してなる、後述の光スイッチング素子アレイの全体に共通のものである。

【0042】カバーガラス17の裏面、すなわちスペーサ16に接合される面には、色再現性を改善するため、赤色、緑色、青色光学多層構造体10R、10G、10Bに対応して、赤色フィルタ18R、緑色フィルタ18G、青色フィルタ18Bが公知の方法で形成されている。基板11の表面からカバーガラス17の裏面(赤色、緑色、青色フィルタ18R、18G、18Bの裏面)までの距離(すなわち、スペーサ16の高さ)は例えば2.2μmと短く、見る角度により色ずれが生じないようにしている。

【0043】基板11は、カーボン(C)、グラファイト(黒鉛)などの非金属、タンタル(Ta)などの金属、酸化クロム(CrO)などの酸化金属、窒化チタン(TiN_x)などの窒化金属、シリコンカーバイド(SiC)などの炭化物、シリコン(Si)などの半導体等の、不透明で光の吸収のある材料により形成されたもの、あるいは、これら光の吸収のある材料の薄膜を透明基板上に成膜したものとしてもよい。基板11は、また、例えばガラス、プラスチックなどの透明材料若しくは消衰係数の小さい半透明材料により形成されたものとしてもよい。

【0044】赤色、緑色、青色表示用の第1の層12R、12G、12Bは、光の吸収のある層であり、例えばTa、Ti、Crなどの金属、CrOなどの酸化金属、TiN_xなどの窒化金属、SiCなどの炭化物、シリコン(Si)などの半導体などにより形成されたものである。

【0045】赤色、緑色、青色表示用の第2の層14R、14G、14Bは、透明材料により形成されたものであり、例えば、酸化チタン(TiO₂) (屈折率2.4)、窒化珪素(Si₃N₄) (屈折率2.0)、酸化亜鉛(ZnO) (屈折率2.0)、酸化ニオブ(Nb₂O₅) (屈折率2.2)、酸化タンタル(Ta₂O₅) (屈折率2.1)、酸化ケイ素(SiO₂) (屈折率2.0)、酸化スズ(SnO₂) (屈折率2.0)、ITO (Indium-Tin Oxide) (屈折率2.0)などにより形成されている。

【0046】なお、この赤色、緑色、青色表示用の第2の層14R、14G、14Bは、スイッチング動作時においては、後述のように可動部として作用するため、特

に、ヤング率が高く、丈夫なSi、N、などで形成されたものであることが好ましい。また、赤色、緑色、青色表示用の第2の層14R、14G、14Bは、後述のように静電気により駆動されるので、赤色、緑色、青色表示用の第2の層14R、14G、14Bは、その一部にITOなどからなる透明導電膜である赤色、緑色、青色表示用透明導電膜15R、15G、15Bを含む複合層となっている。

【0047】赤色、緑色、青色表示用光学多層構造体10R、10G、10Bは、そのすべての層(または間隙部)において物理的または光学的な膜厚(または大きさ)が各色で互いに異なっている。ただし、赤色、緑色、青色表示用透明導電膜15R、15G、15Bは各色で膜厚が等しくてもよく、本実施の形態では、例えば20nmとなっている。

【0048】赤色、緑色、青色表示用の第1の層12R、12G、12Bの物理的な膜厚は、入射光の波長、その材料の屈折率と消衰係数、基板11および赤色、緑色、青色表示用の第2の層14R、14G、14Bの光学定数により決まるものであり、例えば5~60nm程度の値をとる。本実施の形態においては、赤色表示用の第1の層12Rの物理的な膜厚は例えば12.8nm、緑色表示用の第1の層12Gの物理的な膜厚は例えば21.6nm、青色表示用の第1の層12Bの物理的な膜厚は例えば16.3nmに設計されている。

【0049】赤色、緑色、青色表示用の第2の層14R、14G、14Bの光学的な膜厚は、基板11がカーボン、グラファイト、炭化物若しくはガラスなどの透明材料により形成されており、かつ、赤色、緑色、青色表示用の第1の層12R、12G、12Bがタンタル(Ta)などの消衰係数の大きな金属材料等により形成されている場合には、「λ/4」(λは入射光の設計波長)以下である。但し、基板11がカーボン、グラファイト、炭化物若しくはガラスなどの透明材料により形成され、かつ、赤色、緑色、青色表示用の第1の層12R、12G、12Bがシリコン(Si)などの消衰係数の小さな材料により形成されている場合には、赤色、緑色、青色表示用の第2の層14R、14G、14Bの光学的な膜厚は「λ/4」より大きく、「λ/2」以下である。これは赤色、緑色、青色表示用の第1の層12R、12G、12BをSiにより形成した場合の光学アドミッタンスの軌跡がアドミッタンスダイアグラム上で上方に移動するため、赤色、緑色、青色表示用の第2の層14R、14G、14Bとの交点が実軸よりも上側(虚軸上で+側)となるためである。

【0050】なお、以上の膜厚は厳密に「λ/4」「λ/2」でなくとも、これらの近傍の値でもよい。これは、例えば、一方の層の光学膜厚がλ/4より厚くなった分、他方の層を薄くするなどして補完できるからである。このことは他の実施の形態においても同様である。

よって、本明細書においては、「 $\lambda/4$ 」の表現には「ほぼ $\lambda/4$ 」の場合も含まれるものとする。

【0051】なお、上述の赤色、緑色、青色表示用の第2の層14R、14G、14Bの光学的特性は、赤色、緑色、青色表示用の透明導電膜15R、15G、15Bを含む複合層としての合成した光学的特性（光学アドミッタンス）である。また、赤色、緑色、青色表示用の第1の層12R、12G、12Bも、赤色、緑色、青色表示用の第2の層14R、14G、14Bと同様に互いに光学的特性の異なる2以上の層で構成された複合層としてもよく、この場合には複合層における合成した光学的特性（光学アドミッタンス）が単層の場合と同等な特性を有するものとする。

【0052】本実施の形態では、赤色、緑色、青色表示用の第2の層14R、14G、14Bの物理的な膜厚（赤色、緑色、青色表示用透明導電膜15R、15G、15Bの物理的な膜厚を除いた値）は、それぞれ32.8nm、31.7nm、22.8nmとしている。

【0053】赤色、緑色、青色表示用間隙部13R、13G、13Bは、後述の駆動手段によって、その光学的な大きさ（赤色、緑色、青色表示用の第1の層12R、12G、12Bと赤色、緑色、青色表示用の第2の層14R、14G、14Bとの間隔）が可変であるように設定されている。赤色、緑色、青色表示用間隙部13R、13G、13Bを埋める媒体は、透明であれば気体でも液体でもよい。気体としては、例えば、空気（ナトリウムD線（589.3nm）に対する屈折率 $n_0=1.0$ ）、窒素（ N_2 ）（ $n_0=1.0$ ）など、液体としては、水（ $n_0=1.333$ ）、シリコンオイル（ $n_0=1.4\sim 1.7$ ）、エチルアルコール（ $n_0=1.3618$ ）、グリセリン（ $n_0=1.4730$ ）、ジョードメタン（ $n_0=1.737$ ）などが挙げられる。なお、赤色、緑色、青色表示用間隙部13R、13G、13Bを真空状態とすることもできる。

【0054】赤色、緑色、青色表示用間隙部13R、13G、13Bの光学的な大きさは、「 $\lambda/4$ の奇数倍」と「 $\lambda/4$ の偶数倍（0を含む）」との間で、2値的あるいは連続的に変化するものである。これにより入射光の反射、透過若しくは吸収の量が2値的あるいは連続的に変化する。なお、上記赤色、緑色、青色表示用の第1の層12R、12G、12Bおよび赤色、緑色、青色表示用の第2の層14R、14G、14Bの膜厚の場合と同様に、 $\lambda/4$ の倍数から多少ずれても、他の層の膜厚あるいは屈折率の多少の変化で補完できるので、「 $\lambda/4$ 」の表現には、「ほぼ $\lambda/4$ 」の場合も含まれるものとする。

【0055】本実施の形態においては、赤色、緑色、青色表示用間隙部13R、13G、13Bの光学的な大きさは「 $\lambda/4$ 」、すなわち、それぞれ162.5nm、137.5nm、112.5nmとなっている。

【0056】上記のような構成を有する光スイッチング素子10は、図3ないし図18に示した製造方法により製造することができる。

【0057】まず、図3に示したように、例えばカーボンからなる基板11を用意する。そして、図4に示したように、例えばCVD（Chemical Vapor Deposition；化学気相成長）法により、基板11上に、上述した材料からなる薄膜として例えばタンタル（Ta）膜41を成膜する。上述のように、本実施の形態においては、赤色表示用の第1の層12Rの膜厚は例えば12.8nm、緑色表示用の第1の層12Gの膜厚は例えば21.6nm、青色表示用の第1の層12Bの膜厚は例えば16.3nmに設定しているが、図4の工程で成膜するタンタル膜41の膜厚は、最も厚い緑色表示用の第1の層12Gの膜厚21.6nmに等しくなるようにする。

【0058】これに続いて行われる図5ないし図7の工程は、このタンタル膜41を3次元形状にエッチングすることにより、互いに膜厚の異なる赤色表示用の第1の層12R、緑色表示用の第1の層12G、青色表示用の第1の層12Bを形成するための工程である。具体的には、赤色表示用の第1の層12Rは、膜厚21.6nmのタンタル膜41を8.8nmエッチング除去することにより形成する。緑色表示用の第1の層12Gは、タンタル膜41がエッチングされないようにして当初の膜厚を維持させることにより形成する。青色表示用の第1の層12Bは、タンタル膜41を5.3nmエッチング除去することにより形成する。なお、図7に示したように、タンタル膜41の両端部分41A、41Aはエッチング除去されない。このように、タンタル膜41を場所により異なる膜厚になるようにエッチング除去するため、本実施の形態では以下に詳しく説明するようにグレースケールマスクを用いている。

【0059】まず、図5に示したように、タンタル膜41上に第1のフォトレジスト膜21を均一な膜厚に塗布し、第1のフォトレジスト膜21を、予め作製しておいた第1のグレースケールマスク31を用いて感光させる。第1のグレースケールマスク31は、電子線やレーザービームによる直接描画装置を使用して、表面層を特殊処理した膜厚数mmのガラスプレートにマスク露光することにより製作されるグレースケールマスクである。このようなグレースケールマスクとして、電子線またはレーザービームの照射量によって黒レベル（マスクを光が透過するレベル）を調節することができるものが実用化されている（例えば、キャニオンマテリアル社製HEBS（High Energy Beam Sensitive）ガラスプレート）。マスクの黒レベルを変化させたグレースケールマスクを用いることにより、フォトレジストの露光量を調節し、感光されるフォトレジストの厚みを変えることができる。

【0060】このような第1のグレースケールマスク31を用いて、第1のフォトレジスト膜21を感光させ、

図6に示したような3次元形状に加工する。その後、第1のフォトリソ膜21も合わせてタンタル膜41のエッチングを行うことにより、図7に示したように、タンタル膜41に第1のフォトリソ膜21の形状を転写することができる。

【0061】一般的には、例えば、エッチングレートが1の薄膜を階段状にエッチングしたい場合、フォトリソ

$$T_{r1} = R_{r1} \cdot D_{r1}$$

(ただし、 R_{r1} はタンタル膜41のエッチングレートに対する第1のフォトリソ膜21のエッチングレートの比を表し、 D_{r1} は感光後の第1のフォトリソ膜21のうち最も膜厚の小さい部分(すなわち赤色表示用の第1の層12R)と、この最も膜厚の小さい部分以外の部分(すなわち緑色、青色表示用の第1の層12G、12B、およびタンタル膜41の両端部分41A、41A)との膜厚の差を表す)

【0062】上述のように、赤色表示用の第1の層12Rの膜厚が最も小さく、緑色表示用の第1の層12Gは赤色表示用の第1の層12Rよりも8.8nm厚く、青色表示用の第1の層12Bは赤色表示用の第1の層12Rよりも3.5nm厚い。したがって、タンタル膜41に対する第1のフォトリソ膜21のエッチングレートの比が2であれば、図5の工程では第1のフォトリソ膜21を8.8nmの2倍、すなわち17.6nmの膜厚で塗布しておく。そして、図6に示した感光後の第1のフォトリソ膜21の膜厚が、赤色表示用の第1の層12Rでは0nm(第1のフォトリソ膜21は完全に除去される)、緑色表示用の第1の層12Gでは8.8nmの2倍、すなわち17.6nm(第1のフォトリソ膜21は当初の膜厚を維持する)、青色表示用の第1の層12Bでは3.5nmの2倍で7.0nm(第1のフォトリソ膜21はわずかに残る)となるようにすればよい。

【0063】上述のような形状に加工された第1のフォトリソ膜21とタンタル膜41とを合わせてエッチングすると、タンタル膜41に対する第1のフォトリソ膜21のエッチングレートの比は2であるから、第1のフォトリソ膜21に覆われていないタンタル膜41が8.8nmエッチングされて赤色表示用の第1の層12Rが形成される時間内に、タンタル膜41を覆う膜厚17.6nmの第1のフォトリソ膜21がすべてエッチングされ、タンタル膜41の表面が露出して、緑色表示用の第1の層12Gが形成される。一方、時間内に、タンタル膜41を覆う膜厚7.0nmの第1のフォトリソ膜21も完全にエッチングされ、さらにタンタル膜41が5.3nmエッチングされて、膜厚16.3nmの青色表示用の第1の層12Bが形成され ※

$$T_{r1} = R_{r1} \cdot D_{r1}$$

(ただし、 R_{r1} は非晶質シリコン膜42のエッチングレートに対する第2のフォトリソ膜22のエッチング

* スト膜のエッチングレートが2であれば、必要な形状(作成したい階段において、ある段と最も低い段との厚さの差)の2倍の厚さでフォトリソ膜を階段状に加工すればよい。本実施の形態においては、第1のフォトリソ膜21を感光する工程において、図6に示した感光後の第1のフォトリソ膜21の膜厚 T_{r1} は、次式(5)の関係を満たすようになっている。

$$(5)$$

※る。

10 【0064】このようにしてタンタル膜41をエッチングにより3次元形状に加工し、図7に示したように、互いに膜厚の異なる赤色表示用の第1の層12R、緑色表示用の第1の層12G、青色表示用の第1の層12Bを形成することができる。

【0065】次に、図8に示すように、相互に大きさが異なる赤色、緑色、青色表示用間隙部13R、13G、13Bを形成するための犠牲層として、非晶質シリコン(a-Si)層42を均一な膜厚で形成する。赤色、緑色、青色表示用間隙部13R、13G、13Bのうち赤色表示用間隙部13Rの大きさが162.5nmと最も大きいので、この非晶質シリコン膜42も162.5nmの膜厚に形成する。

【0066】これに続く図9から図11に示す工程は、互いに大きさが異なる赤色表示用間隙部13R、緑色表示用間隙部13G、青色表示用間隙部13Bを形成するために、この非晶質シリコン膜42を、これらの赤色、緑色、青色表示用間隙部13R、13G、13Bに対応する3次元形状にエッチングする工程である。具体的には、大きさ162.5nmの赤色表示用間隙部13Rを形成するためには、非晶質シリコン膜42がエッチングされないようにして当初の膜厚を維持させる。大きさ137.5nmの緑色表示用間隙部13Gを形成するためには、非晶質シリコン膜42を25nmエッチング除去する。大きさ112.5nmの青色表示用間隙部13Bを形成するためには、非晶質シリコン膜42を50nmエッチング除去する。なお、図8に示した非晶質シリコン膜42の両端部分42A、42Aは、図11に示したように完全にエッチング除去される。

【0067】まず、図9に示したように、非晶質シリコン膜42上に第2のフォトリソ膜22を均一な膜厚に塗布し、この第2のフォトリソ膜22を、予め作製しておいた第2のグレースケールマスク32を用いて感光させ、3次元形状に加工する。本実施の形態においては、第2のフォトリソ膜22を感光する工程において、図10に示した感光後の第2のフォトリソ膜22の膜厚 T_{r2} は、次式(6)の関係を満たすようになっている。

$$(6)$$

レート R_{r2} の比を表し、 D_{r2} は感光後の第2のフォトリソ膜22のうち最も膜厚の小さい部分(すなわち両端部

分42A、42B)と、この最も膜厚の小さい部分以外の部分(赤色、緑色、青色表示用間隙部13R、13G、13Bとなるべき部分)との膜厚の差を表す)

【0068】感光後の第2のフォトレジスト膜22の具体的な膜厚の数値の設定については第1のフォトレジスト膜21の場合と同様なので、その詳細な説明は省略する。

【0069】その後、第2のフォトレジスト膜22も合わせて非晶質シリコン膜42のエッチングを行うことにより、図11に示したように、非晶質シリコン膜42に第2のフォトレジスト膜22の形状を転写することができる。

【0070】続いて、図12に示したように、タンタル膜41および非晶質シリコン膜42の上に、プラズマCVD(PECVD: Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition)または低圧CVD(LPCVD: Low Pressure Chemical Vapor Deposition)により、赤色、緑色、青色表示用の第2の層14R、14G、14Bを形成するための窒化ケイ素(SiN_x)膜43を均一な膜厚で成膜する。このとき、窒化ケイ素膜43の内部応力は、光スイッチング素子10に必要な応答周波数によって調整される必要があり、おおむね100~800MPaの引張り応力が必要となる。本実施の形態では、応答時間を1μs以下とすることが要求されているので、窒化ケイ素膜43の引張り応力が200MPaとなるような条件で成膜する。なお、赤色、緑色、青色表示用の第2の層14R、14G、14Bのうち赤色表示用の第2の層14Rの膜厚が32.8nmと最も厚いので、ここ*

$$T_{p1} = R_{p1} \cdot D_{p1}$$

(ただし、 R_{p1} は非晶質シリコン膜43のエッチングレートに対する第3のフォトレジスト膜23のエッチングレートの比を表し、 D_{p1} は感光後の第3のフォトレジスト膜23のうち最も膜厚の小さい部分(すなわち両端部分43A、43B)と、この最も膜厚の小さい部分以外の部分(赤色、緑色、青色表示用の第2の層14R、14G、14B)との膜厚の差を表す)

【0073】感光後の第3のフォトレジスト膜23の具体的な膜厚の数値の設定については第1のフォトレジスト膜21の場合と同様なので、その詳細な説明は省略する。

【0074】その後、第3のフォトレジスト膜23も合わせて窒化ケイ素膜43のエッチングを行うことにより、図15に示したように、窒化ケイ素膜43に第3のフォトレジスト膜23の形状を転写するとともに、3つの部分に分割された互いに膜厚の異なる赤色、緑色、青色表示用の第2の層14R、14G、14Bが形成される。

【0075】続いて、赤色、緑色、青色表示用透明導電膜15R、15G、15Bを形成するためのITO膜を、均一な厚み、例えば本実施の形態では20nmの厚

*で成膜される窒化ケイ素膜43の膜厚は32.8nmとする。

【0071】これに続く図13から図15に示す工程は、互いに膜厚の異なる赤色表示用の第2の層14R、緑色表示用の第2の層14G、青色表示用の第2の層14Bを形成するために、この窒化ケイ素膜43を3次元形状にエッチングする工程である。具体的には、膜厚32.8nmの赤色表示用の第2の層14Rを形成するためには、窒化ケイ素膜43がエッチングされないようにして当初の膜厚を維持させる。膜厚31.7nmの緑色表示用の第2の層14Gを形成するためには、窒化ケイ素膜43を1.1nmエッチング除去する。膜厚22.8nmの青色表示用の第2の層14Bを形成するためには、窒化ケイ素膜43を10nmエッチング除去する。なお、図12に示した窒化ケイ素膜43の両端部分43A、43Bは、図15に示したように、完全にエッチング除去される。

【0072】まず、図13に示したように、窒化ケイ素膜43上に第3のフォトレジスト膜23を均一な膜厚に塗布し、この第3のフォトレジスト膜23を、予め作製しておいた第3のグレースケールマスク33を用いて感光させ、図14に示したような3次元形状に加工する。このとき、図14からわかるように、第3のフォトレジスト膜23は、膜厚の互いに異なる3つの部分に分割されている。本実施の形態においては、第3のフォトレジスト膜23を感光する工程において、図14に示した感光後の第3のフォトレジスト膜23の膜厚 T_{p1} は、次式(7)の関係を満たすようになっている。

(7)

みて成膜する。赤色、緑色、青色表示用透明導電膜15R、15G、15Bは各色で膜厚を変える必要がないので、通常のマスクを用いてITO膜をパターンニングする。これにより、図16に示したように、赤色、緑色、青色表示用の第2の層14R、14G、14Bの上にそれぞれ赤色、緑色、青色表示用透明導電膜15R、15G、15Bが形成される。

【0076】次に、図1および図2に示したスペーサ16を形成するための酸化シリコン(SiO_2)膜を基板11の表面から2.2μmの膜厚になるように成膜し、この酸化シリコン膜をリフトオフ法によりパターンニングする。こうして、図17(A)、(B)に示したように、赤色、緑色、青色光学多層構造体10R、10G、10Bに対してそれぞれ一対のスペーサ16を形成する。

【0077】その後、例えばフッ化キセノン(XeF_4)を用いたドライエッチングにより、犠牲層としての非晶質シリコン膜42を除去する。こうして、図18および図19に示したように、「λ/4」の光学的大きさを有する赤色、緑色、青色表示用間隙部13R、13G、13Bが形成される。こうして、赤色、緑色、青色

表示用光学多層構造体10R、10G、10Bを備えたカラー表示可能な光スイッチング素子10が完成する。

【0078】なお、図1ないし図19では一個の光スイッチング素子10を示しているが、実際には、多数の光スイッチング素子10が基板11上に2次元アレイ状に作製されて図示しない光スイッチング素子アレイを構成している。そして、さらにスペーサ16を介してこの光スイッチング素子アレイ全体に共通のカバーガラス17（図1参照）が接合される。カバーガラス17の裏面には、色再現性を向上させるための赤色、緑色、青色フィルタ18R、18G、18Bが予め形成されている。カバーガラス17を接合する際には、光スイッチング素子アレイの内部を窒素（N₂）またはヘリウム（He）雰囲気にして封止する。内部の圧力は、用途に応じて必要な光スイッチング素子10の減衰を考慮して決定され、本実施の形態では例えば50KPaのヘリウム雰囲気とする。

【0079】その後、2次元アレイ状に形成されている光スイッチング素子10を個々に分割してチップ化する。光スイッチング素子10のチップ化は、例えば、まずカバーガラス17をダイシングし、その後基板11をダイシングすることにより行うことができる。

【0080】上記のような構造を有する光スイッチング素子10の赤色、緑色、青色表示用光学多層構造体10R、10G、10Bは、赤色、緑色、青色表示用間隙部13R、13G、13Bの光学的な大きさを、 $\lambda/4$ の奇数倍と $\lambda/4$ の偶数倍（0を含む）との間（例えば「 $\lambda/4$ 」と「0」の間）で、2値的あるいは連続的に変化させることによって、入射した光の反射、透過若しくは吸収の量を変化させるものである。赤色、緑色、青色表示用光学多層構造体10R、10G、10Bを構成する各層または間隙部は、その光学的または物理的な膜厚または大きさが各色ごとに最適化されており、これにより光スイッチング素子10はカラー表示可能となる。

【0081】本実施の形態においては、赤色、緑色、青色表示用光学多層構造体10R、10G、10Bは、静電気により駆動される。すなわち、赤色、緑色、青色表示用透明導電膜15R、15G、15Bと、赤色、緑色、青色表示用の第1の層12R、12G、12Bとの間への電圧印加による電位差で生じた静電引力によって、赤色、緑色、青色表示用間隙部13R、13G、13Bの光学的な大きさを、例えば「 $\lambda/4$ 」と「0」の間、あるいは「 $\lambda/4$ 」と「 $\lambda/2$ 」の間で2値的に切り替える。勿論、赤色、緑色、青色表示用透明導電膜15R、15G、15B、赤色、緑色、青色表示用の第1の層12R、12G、12Bへの電圧印加を連続的に変化させることにより、赤色、緑色、青色表示用間隙部13R、13G、13Bの大きさをある値の範囲で連続的に変化させ、入射した光の反射、若しくは透過ある

いは吸収等の量を連続的（アナログ的）に変化させるようにすることもできる。

【0082】ここで、赤色、緑色、青色表示用間隙部13R、13G、13Bの光学的な大きさを例えば上記の「 $\lambda/4$ 」と「0」の間で2値的に切り替えるとする。赤色、緑色、青色表示用透明導電膜15R、15G、15Bと赤色、緑色、青色表示用の第1の層12R、12G、12Bとの間の電位差が0Vであるときは、図20（A）に示したように、赤色、緑色、青色表示用の第2の層14R、14G、14Bは赤色、緑色、青色表示用の第1の層12R、12G、12Bに対して離間した状態となり、赤色、緑色、青色表示用間隙部13R、13G、13Bの光学的な大きさは例えばすべて「 $\lambda/4$ 」である。このとき、入射光は反射され、画面上は白となる。

【0083】これに対し、赤色、緑色、青色表示用透明導電膜15R、15G、15Bに正の電圧（本実施の形態では例えば+10V）を印加し、赤色、緑色、青色表示用の第1の層12R、12G、12Bを接地し0Vとすると、静電引力が発生する。この静電引力により、図20（B）に示したように、赤色、緑色、青色表示用の第2の層14R、14G、14Bが、赤色、緑色、青色表示用の第1の層12R、12G、12Bに密着する。こうして赤色、緑色、青色表示用間隙部13R、13G、13Bの光学的な大きさがすべて「0」となる。このとき、基板11が例えばカーボンなどの光を吸収のある不透明な材料から構成されていれば、入射した光は基板11に完全に吸収され、画面上は黒となる。

【0084】勿論、赤色、緑色、青色表示用光学多層構造体10R、10G、10Bはそれぞれ個別に駆動されることも可能である。例えば、図20（A）の状態において、緑色、青色表示用透明導電膜15G、15Bに正の電圧（本実施の形態では例えば+10V）を印加し、赤色、青色表示用の第1の層12G、12Bを接地し0Vとすると、静電引力が発生する。この静電引力により、図21（A）に示したように、緑色、青色表示用の第2の層14G、14Bが、緑色、青色表示用の第1の層12G、12Bに密着する一方、赤色表示用の第2の層14Rは赤色表示用の第1の層12Rから離間した状態を保つ。こうして、緑色、青色表示用間隙部13G、13Bの光学的な大きさが「0」となり、赤色表示用間隙部13Rの光学的な大きさは「 $\lambda/4$ 」となる。このとき、緑色、青色表示用光学多層構造体10G、10Bに入射した光は基板11に完全に吸収され、赤色表示用光学多層構造体10Rに入射した光のみが反射されるので、画面上は赤となる。

【0085】また、例えば、図20（A）の状態において、青色表示用透明導電膜15Bに正の電圧（本実施の形態では例えば+10V）を印加し、青色表示用の第1の層12Bを接地し0Vとすると、静電引力が発生す

る。この静電引力により、図21(B)に示したように、青色表示用の第2の層14Bが、青色表示用の第1の層12Bに密着する一方、赤色、緑色表示用の第2の層14R、14Gは赤色、緑色表示用の第1の層12R、12Gから離間した状態を保つ。こうして、青色表示用間隙部13Bの光学的な大きさが「0」となり、赤色、緑色表示用間隙部13R、13Gの光学的な大きさは「 $\lambda/4$ 」となる。このとき、青色表示用光学多層構造体10Bに入射した光は基板11に完全に吸収され、赤色、緑色表示用光学多層構造体10R、10Gに入射した光のみが反射されるので、画面上は黄色となる。

【0086】このように本実施の形態では、同一の基板11上に、各層（または間隙部）の膜厚（または大きさ）が各色で互いに異なる以外は同一の構成を有する赤色、緑色、青色表示用光学多層構造体10R、10G、10Bを作製することにより光スイッチング素子10を作製するようにしたので、簡単な構成でカラー表示可能な光スイッチング素子10を実現することができる。さらに、一個の光スイッチング素子10が画面上の1ピクセルを構成するので、例えば1つのピクセルに8本の格子状のリボンが必要となるGLVに比べて構成が簡単であり、寸法を小さくすることができる。したがって、画像表示装置に適用した場合に、小型軽量化が可能となるとともに、小型であるだけに応答速度が速くなるので、動きの速い動画表示の品質向上が期待できる。

【0087】また、本実施の形態では、基板11および赤色、緑色、青色表示用の第1の層12R、12G、12Bの屈折率はある範囲の任意の値であれば良いため、材料の選択の自由度が広がる。また、基板11を不透明な材料により構成した場合には、低反射時において入射光は基板11に吸収されるので、透光などが発生する心配はなくなり、画像表示装置に適用した場合にコントラストが向上する。

【0088】加えて、本実施の形態では、1ピクセルに複数の光スイッチング素子10を割り当てれば、それぞれ独立に駆動可能であるため、画像表示装置として画像表示の階調表示を行う場合に、時分割による方法だけではなく、面積による階調表示も可能である。

【0089】また、本実施の形態では、上述の光スイッチング素子10の製造方法において、赤色、緑色、青色表示用光学多層構造体10R、10G、10Bの各層（または間隙部）を形成する際に成膜する第1、第2、第3のフォトリソ層21、22、23を、第1、第2、第3のグレースケールマスク31、32、33を用いて3次元加工するようにしたので、工程数を減少させることができ、各層（または間隙部）の膜厚（または大きさ）が各色で異なる赤色、緑色、青色表示用光学多層構造体10R、10G、10Bを容易に精度良く形成できる。

【0090】（第2の実施の形態）次に、本発明の第2

の実施の形態に係る光スイッチング素子について説明する。本実施の形態に係る光スイッチング素子は、図1に示した第1の実施の形態に係る光スイッチング素子と製造方法のみにおいて異なり、その他は、第1の実施の形態と同一の構成、作用および効果を有している。よって、同一の構成要素には同一の符号を付し、ここではその詳細な説明を省略する。

【0091】本実施の形態に係る光スイッチング素子の製造方法は、以下の点で第1の実施の形態と異なっている。すなわち、第1の実施の形態においては、各層（または間隙部）の膜厚（または大きさ）が各色で互いに異なる赤色、緑色、青色表示用光学多層構造体10R、10G、10Bを同一の基板11上に形成するために、第1ないし第3のグレースケールマスク31、32、33を用いる。これに対して、本実施の形態においては、リフトオフ法を用いて、各色ごとに別々の工程で所望の膜厚を有する層を形成するようにしている。

【0092】以下、図22ないし図48を参照して、本実施の形態に係る光スイッチング素子の製造方法について説明する。

【0093】まず、図22に示したように、例えばカーボンからなる基板11を用意する。この基板上に、互いに膜厚の異なる赤色、緑色、青色表示用の第1の層12R、12G、12Bを、各色ごとに別々の工程で形成する。

【0094】初めに、この基板11の全面にわたってフォトリソ層を塗布し、図示しない通常のマスクを用いて露光する。これによりフォトリソ層をパターニングし、図23に示したように、赤色表示用の第1の層12Rを形成するためのフォトリソ膜61を形成する。

【0095】続いて、図24に示したように、基板11およびフォトリソ膜61の全面にわたって、赤色、緑色、青色表示用の第1の層12R、12G、12Bの上述した材料からなる薄膜として例えばタンタル（Ta）膜62を成膜する。上述のように、本実施の形態においては、赤色表示用の第1の層12Rの膜厚は例えば12.8nmであるから、タンタル膜62の膜厚も12.8nmとする。

【0096】その後、リフトオフ法を用いて、フォトリソ膜61を、その上に成膜されているタンタル膜62とともに除去する。これにより、図25に示したように、タンタルからなる所望の膜厚の赤色表示用の第1の層12Rが形成される。

【0097】次に、基板11および赤色表示用の第1の層12Rの全面にわたってフォトリソ層を塗布し、図示しない通常のマスクを用いて露光する。これによりフォトリソ層をパターニングし、図26に示したように、緑色表示用の第1の層12Gを形成するためのフォトリソ膜63を形成する。

【0098】続いて、図27に示したように、基板11

およびフォトレジスト膜63の全面にわたって、タンタル(Ta)膜64を成膜する。上述のように、本実施の形態においては、緑色表示用の第1の層12Gの膜厚は例えば21.6nmであるから、タンタル膜64の膜厚も21.6nmとする。

【0099】その後、リフトオフ法を用いて、フォトレジスト膜63を、その上に成膜されているタンタル膜64とともに除去する。これにより、図28に示したように、タンタルからなる所望の膜厚の緑色表示用の第1の層12Gが形成される。

【0100】更にまた、基板11および赤色、緑色表示用の第1の層12R、12Gの全面にわたってフォトレジストを塗布し、図示しない通常のマスクを用いて露光する。これによりフォトレジストをパターンニングし、図29に示したように、青色表示用の第1の層12Bを形成するためのフォトレジスト膜65を形成する。

【0101】続いて、図30に示したように、基板11およびフォトレジスト膜65の全面にわたって、タンタル(Ta)膜66を成膜する。上述のように、本実施の形態においては、青色表示用の第1の層12Bの膜厚は例えば16.3nmであるから、タンタル膜66の膜厚も16.3nmとする。

【0102】その後、リフトオフ法を用いて、フォトレジスト膜65を、その上に成膜されているタンタル膜66とともに除去する。これにより、図31に示したように、タンタルからなる所望の膜厚の青色表示用の第1の層12Bが形成される。

【0103】以上のようにして、それぞれ所望の膜厚を有する赤色、緑色、青色表示用の第1の層12R、12G、12Bが各色ごとに別々の工程により完成する。次に、各色で互いに大きさの異なる赤色、緑色、青色表示用間隙部13R、13G、13Bを形成するための犠牲層としての非晶質シリコン膜を、各色ごとに別々の工程により形成する。

【0104】まず、基板11および赤色、緑色、青色表示用の第1の層12R、12G、12Bの全面にわたってフォトレジストを塗布し、図示しない通常のマスクを用いて露光する。これによりフォトレジストをパターンニングし、図32に示したように、赤色表示用間隙部13Rを形成するための犠牲層としての非晶質シリコン膜68(図33参照)を形成するためのフォトレジスト膜67を形成する。

【0105】次に、図33に示したように、フォトレジスト膜67および赤色表示用の第1の層12Rの全面にわたって、非晶質シリコン(a-Si)膜68を成膜する。上述のように、本実施の形態においては、赤色表示用間隙部13Rの大きさは例えば162.5nmであるから、非晶質シリコン膜68の膜厚も162.5nmとする。

【0106】その後、リフトオフ法を用いて、フォトレ

ジスト膜67を、その上に成膜されている非晶質シリコン膜68とともに除去する。これにより、図34に示したように、所望の大きさを有する赤色表示用間隙部13Rを形成するための犠牲層としての非晶質シリコン膜68が形成される。

【0107】続いて、基板11、非晶質シリコン膜68および緑色、青色表示用の第1の層12G、12Bの全面にわたってフォトレジストを塗布し、図示しない通常のマスクを用いて露光する。これによりフォトレジストをパターンニングし、図35に示したように、緑色表示用間隙部13Gを形成するための犠牲層としての非晶質シリコン膜70(図36参照)を形成するためのフォトレジスト膜69を形成する。

【0108】次に、図36に示したように、フォトレジスト膜69および緑色表示用の第1の層12Gの全面にわたって、非晶質シリコン(a-Si)膜70を成膜する。上述のように、本実施の形態においては、緑色表示用間隙部13Gの大きさは例えば137.5nmであるから、非晶質シリコン膜70の膜厚も137.5nmとする。

【0109】その後、リフトオフ法を用いて、フォトレジスト膜69を、その上に成膜されている非晶質シリコン膜70とともに除去する。これにより、図37に示したように、所望の大きさを有する緑色表示用間隙部13Gを形成するための犠牲層としての非晶質シリコン膜70が形成される。

【0110】更にまた、基板11、非晶質シリコン膜68、70および青色表示用の第1の層12Bの全面にわたってフォトレジストを塗布し、図示しない通常のマスクを用いて露光する。これによりフォトレジストをパターンニングし、図38に示したように、青色表示用間隙部13Bを形成するための犠牲層としての非晶質シリコン膜72(図39参照)を形成するためのフォトレジスト膜71を形成する。

【0111】次に、図39に示したように、フォトレジスト膜71および青色表示用の第1の層12Bの全面にわたって、非晶質シリコン(a-Si)膜72を成膜する。上述のように、本実施の形態においては、青色表示用間隙部13Bの大きさは例えば112.5nmであるから、非晶質シリコン膜72の膜厚も112.5nmとする。

【0112】その後、リフトオフ法を用いて、フォトレジスト膜71を、その上に成膜されている非晶質シリコン膜72とともに除去する。これにより、図40に示したように、所望の大きさを有する青色表示用間隙部13Bを形成するための犠牲層としての非晶質シリコン膜72が形成される。

【0113】以上のようにして、それぞれ所望の大きさを有する赤色、緑色、青色表示用間隙部13R、13G、13Bを形成するための犠牲層としての非晶質シリ

コン膜88、70、72が各色ごとに別々の工程により完成する。次に、各色で互いに膜厚の異なる赤色、緑色、青色表示用の第2の層14R、14G、14Bを、各色ごとに別々の工程により形成する。

【0114】まず、基板11および非晶質シリコン膜68、70、72の全面にわたって、フォトレジストを塗布し、図示しない通常のマスクを用いて露光する。これによりフォトレジストをパターンニングし、図41に示したように、赤色表示用の第2の層14Rを形成するためのフォトレジスト膜73を形成する。

【0115】続いて、図42に示したように、フォトレジスト膜73および非晶質シリコン膜68の全面にわたって、赤色、緑色、青色表示用の第2の層14R、14G、14Bの上述した材料からなる薄膜として例えば窒化ケイ素(SiN_x)膜74を成膜する。上述のように、本実施の形態においては、赤色表示用の第2の層14Rの膜厚は例えば32.8nmであるから、窒化ケイ素膜74の膜厚も32.8nmとする。

【0116】その後、リフトオフ法を用いて、フォトレジスト膜73を、その上に成膜されている窒化ケイ素膜74とともに除去する。これにより、図43に示したように、窒化ケイ素からなる所望の膜厚の赤色表示用の第2の層14Rが形成される。

【0117】次に、基板11、赤色表示用の第2の層14Rおよび非晶質シリコン膜70、72の全面にわたって、フォトレジストを塗布し、図示しない通常のマスクを用いて露光する。これによりフォトレジストをパターンニングし、図44に示したように、緑色表示用の第2の層14Gを形成するためのフォトレジスト膜75を形成する。

【0118】続いて、図45に示したように、フォトレジスト膜75および非晶質シリコン膜70の全面にわたって、窒化ケイ素(SiN_x)膜76を成膜する。上述のように、本実施の形態においては、緑色表示用の第2の層14Gの膜厚は例えば31.7nmであるから、窒化ケイ素膜76の膜厚も31.7nmとする。

【0119】その後、リフトオフ法を用いて、フォトレジスト膜75を、その上に成膜されている窒化ケイ素膜76とともに除去する。これにより、図46に示したように、窒化ケイ素からなる所望の膜厚の緑色表示用の第2の層14Gが形成される。

【0120】更にまた、基板11、赤色、緑色表示用の第2の層14R、14Gおよび非晶質シリコン膜72の全面にわたって、フォトレジストを塗布し、図示しない通常のマスクを用いて露光する。これによりフォトレジストをパターンニングし、図47に示したように、青色表示用の第2の層14Bを形成するためのフォトレジスト膜77を形成する。

【0121】続いて、図48に示したように、フォトレジスト膜77および非晶質シリコン膜72の全面にわた

って、窒化ケイ素(SiN_x)膜78を成膜する。上述のように、本実施の形態においては、青色表示用の第2の層14Bの膜厚は例えば22.8nmであるから、窒化ケイ素膜78の膜厚も22.8nmとする。

【0122】その後、リフトオフ法を用いて、フォトレジスト膜77を、その上に成膜されている窒化ケイ素膜78とともに除去する。これにより、図49に示したように、窒化ケイ素からなる所望の膜厚の青色表示用の第2の層14Bが形成される。

10 【0123】この後は、第1の実施の形態において図16ないし図19を参照して説明した製造工程により、図1および図2に示したような光スイッチング素子10が完成する。したがって、この後に続く工程に関する詳細な説明はこれを省略する。

【0124】上述のように、本実施の形態では、赤色、緑色、青色表示用光学多層構造体10R、10G、10Bの各層を、リフトオフ法を用いて、各色毎に別々の工程により作製するようにしたので、工程数は多くなるが、一般的なプロセスの反復によりカラー表示可能な光スイッチング素子10を製造することができる。したがって、グレースケールマスク31、32、33を用いる第1の実施の形態に比べてプロセス条件を設定しやすいという利点がある。

【0125】(第3の実施の形態)次に、本発明の第3の実施の形態に係る光スイッチング素子について説明する。図50および図51は、本実施の形態に係る光スイッチング素子80の概略構成を表すものである。光スイッチング素子80は、同一の基板81に形成された赤色、緑色、青色表示用光学多層構造体80R、80G、80Bを有している。

30 【0126】基板81には、赤色、緑色、青色表示用の第1の層82R、82G、82Bにそれぞれ対応する3次元形状を有する第1の凹部81R、第2の凹部81G、第3の凹部81Bが形成されている。そして、赤色、緑色、青色表示用の第1の層82R、82G、82Bは、この第1の凹部81R、第2の凹部81G、第3の凹部81Bに埋め込まれるように形成されている。これ以外は、基板81および赤色、緑色、青色表示用の第1の層82R、82G、82Bは第1の実施の形態に係る基板11および赤色、緑色、青色表示用の第1の層12R、12G、12Bと同一の構成を有しているため、これ以上の詳細な説明は省略する。

【0127】赤色、緑色、青色表示用の第1の層82R、82G、82B以外は、光スイッチング素子80は、すべて第1の実施の形態に係る光スイッチング素子10と同一の構成、作用および効果を有している。よって、同一の構成要素には同一の符号を付し、ここではその詳細な説明を省略する。

【0128】以下、図52ないし図55を参照して、本実施の形態に係る光スイッチング素子80の製造方法の

うち、第1または第2の実施の形態と異なる工程、すなわち赤色、緑色、青色表示用の第1の層82R、82G、82Bを形成する工程のみについて説明する。

【0129】まず、図52に示したように、例えばカーボンからなる基板81を用意する。そして、図53に示したように、この基板81に、赤色表示用の第1の層82Rと同じ3次元形状を有する第1の凹部81Rと、緑色表示用の第1の層82Gと同じ3次元形状を有する第2の凹部81Gと、青色表示用の第1の層82Bと同じ3次元形状を有する第3の凹部81Bとを、例えばイオンビームを用いて形成する。

【0130】次に、図54に示したように、例えばCVD法により、赤色、緑色、青色表示用の第1の層82R、82G、82Bを形成するための薄膜として、例えばタンタル膜82を基板81の全面にわたって成膜する。

【0131】続いて、図55に示したように、CMP（Chemical Mechanical Polishing）法により、タンタル膜82を、赤色、緑色、青色表示用の第1の層82R、82G、82Bの所望の膜厚になるよう成形し、平坦化する。こうして、赤色、緑色、青色表示用の第1の層82R、82G、82Bが基板81に埋め込まれた状態で形成される。

【0132】これに続いて、グレースケールマスクを用いる第1の実施の形態またはリフトオフ法を用いる第2の実施の形態の製造方法を用いて光スイッチング素子80の残りの各層（または間隙部）を形成することができる。ここでは、その詳細な説明は省略する。

【0133】このように、本実施の形態によれば、赤色、緑色、青色表示用の第1の層82R、82G、82Bが基板81に埋め込まれた状態で形成されるので、赤色、緑色、青色表示用の第1の層82R、82G、82Bの表面が同一平面上に揃う。したがって、赤色、緑色、青色表示用の第1の層82R、82G、82Bの膜厚の差が解消され、赤色、緑色、青色表示用光学多層構造体80R、80G、80Bの表面の段差が小さくなる。これにより、光スイッチング素子80の表面の平坦度が向上する。

【0134】（画像表示装置）図56は、本発明の一実施の形態に係る画像表示装置の一例を表すものである。この画像表示装置100は、上記各実施の形態に係る光スイッチング素子10を用いた直視・反射型画像表示装置である。勿論、光スイッチング素子10に代えて第3の実施の形態に係る光スイッチング素子80を用いることもできることは言うまでもない。画像表示装置100は、例えば基板101上に上記光スイッチング素子10を2次元アレイ状に配置し、直視により画像を見ることができるようになっている。

【0135】この画像表示装置100によれば、上記各実施の形態に係る高速応答可能な光スイッチング素子1

0を用いているので、小型軽量化が可能であり、携帯情報機器における直視・反射型画像表示装置の用途に好適であるだけでなく、高速応答可能な速い動きの動画表示が可能である。また、光スイッチング素子10は、反射型液晶と異なり偏光板を必要としないので、この画像表示装置100は光の利用効率が高く、表示される画像が明るくなる。

【0136】加えて、光スイッチング素子10は電圧制御の素子であるので、画像表示装置100に適用した場合に消費電力が非常に小さくなる。更に、光スイッチング素子10の基板11としてカーボンのような光の吸収のある不透明な材料を用いれば、不要な光を基板11に吸収させることができるので、この光スイッチング素子10を用いた画像表示装置100はコントラスト向上が期待できる。

【0137】以上実施の形態を挙げて本発明を説明したが、本発明は上記実施の形態に限定されるものではなく、種々変形可能である。例えば、上記実施の形態では、赤色、緑色、青色表示用光学多層構造体10R、10G、10Bの駆動を静電気を利用して行う光スイッチング素子10について説明したが、光学多層構造体の駆動方法としては、静電気の他、トグル機構や圧電素子などのマイクロマシンを用いる方法、磁力を用いる方法や、形状記憶合金を用いる方法、磁力を用いる方法など、種々考えられる。

【0138】また、グレースケールマスクを用いる第1の実施の形態の製造方法と、リフトオフ法を用いる第2の実施の形態の製造方法は、適宜組み合わせ採用することも可能である。

【0139】上記実施の形態では、ガラス基板101上に光スイッチング素子10を2次元アレイ状に配置した直視・反射型画像表示装置について説明したが、基板101の代わりに例えば膜厚2mm以内の柔軟性を有する（フレキシブルな）基板を用いたベーパー状のディスプレイとすることができるようにしてもよい。

【0140】更に、上記実施の形態では、本発明の光スイッチング素子を直視・反射型画像表示装置に用いた例について説明したが、直視・反射型画像表示装置に限らず、プロジェクション型などの他の画像表示装置への適用も可能であることは明らかである。さらに、例えば光プリンタに用いて感光性ドラムへの画像の描きこみをす等、画像表示装置以外の光プリンタなどの各種デバイスにも適用することも可能である。

【0141】

【発明の効果】以上説明したように、請求項1ないし15のいずれか1に記載の光スイッチング素子によれば、同一の基板上に、各層（または間隙部）の膜厚（または大きさ）が各色で互いに異なる以外は同一の構成を有する赤色、緑色、青色表示用光学多層構造体を有するので、構成が簡単であり、寸法を小さくすることができ

る。したがって、画像表示装置に適用した場合に、小型軽量化が可能となるとともに、小型であるだけに応答速度が速くなるので、動きの速い動画表示の品質向上が期待できるという効果を奏する。また、本発明の光スイッチング素子は、反射型液晶と異なり偏光板を必要としないので、本発明の光スイッチング素子を適用した画像表示装置は光の利用効率が高くなり、表示される画像が明るくなる。

【0142】特に、請求項3、4または14に記載の光スイッチング素子によれば、基板としてカーボンのような光の吸収のある材料を用いたので、不要な光を基板に吸収させることができる。したがって、この光スイッチング素子を用いた画像表示装置はコントラスト向上が期待できるという更なる効果をもたらす。

【0143】また、特に、請求項10に記載の光スイッチング素子によれば、静電力により赤色、緑色、青色表示用光学多層構造体を駆動するので、本発明の光スイッチング素子を用いた画像表示装置の消費電力が非常に小さくなる。

【0144】また、請求項16ないし25のいずれか1に記載の光スイッチング素子の製造方法においては、赤色、緑色、青色表示用光学多層構造体の各層（または間隙部）を形成する際に、第1、第2、第3のグレースケールマスクを用いるようにしたので、工程数を減少させることができ、各層（または間隙部）の膜厚（または大きさ）が各色で異なる赤色、緑色、青色表示用光学多層構造体を容易に精度良く形成できるという効果がある。

【0145】また、請求項26ないし32のいずれか1に記載の光スイッチング素子の製造方法によれば、赤色、緑色、青色表示用光学多層構造体の各層（または間隙部）を形成する際に、リフトオフ法を用いるようにしたので、通常の製造プロセスの繰り返しによる製造が可能となるとともに、プロセス条件の設定が容易になる。

【0146】また、請求項25または請求項32に記載の光スイッチング素子の製造方法によれば、赤色、緑色、青色表示用の第1の層が基板に埋め込まれた状態で形成されるので、赤色、緑色、青色表示用の第1の層の表面が同一平面上に揃う。したがって、赤色、緑色、青色表示用の第1の層の膜厚の差が解消され、赤色、緑色、青色表示用光学多層構造体の表面の段差が小さくなる。これにより、光スイッチング素子の表面の平坦度が向上するという効果を奏する。

【0147】請求項33に記載の画像表示装置では、1次元あるいは2次元に配列された本発明の複数の光スイッチング素子に対して光が照射されることによって2次元カラー画像が表示されるので、小型軽量化が可能であり、携帯情報機器における直視・反射型画像表示装置の用途に好適であるだけでなく、高速応答可能な速い動きの動画表示が可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係る光スイッチング素子の概略構成を表す斜視図である。

【図2】図1に示した光スイッチング素子のI-I線に沿った断面図である。

【図3】図1に示した光スイッチング素子の製造工程を説明するための断面図である。

【図4】図3の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図5】図4の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図6】図5の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図7】図6の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図8】図7の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図9】図8の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図10】図9の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図11】図10の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図12】図11の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図13】図12の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図14】図13の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図15】図14の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図16】図15の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図17】図16の工程に続く工程を説明するための図であり、(A)は平面図、(B)は(A)のB-B線に沿った断面図である。

【図18】図17の工程に続く工程を説明するための平面図である。

【図19】図18に示した光スイッチング素子の断面図であり、(A)は図18のA-A線に沿った断面図、(B)は図18のB-B線に沿った断面図である。

【図20】図1に示した光スイッチング素子の駆動を説明するための断面図である。

【図21】図1に示した光スイッチング素子の駆動を説明するための断面図である。

【図22】本発明の第2の実施の形態に係る光スイッチング素子の製造工程を説明するための断面図である。

【図23】図22の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図24】図23の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図25】図24の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図26】図25の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図27】図26の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図28】図27の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図29】図28の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図30】図29の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図31】図30の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図32】図31の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図33】図32の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図34】図33の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図35】図34の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図36】図35の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図37】図36の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図38】図37の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図39】図38の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図40】図39の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図41】図40の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図42】図41の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図43】図42の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図44】図43の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図45】図44の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図3】



*【図46】図45の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図47】図46の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図48】図47の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図49】図48の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図50】本発明の第3の実施の形態に係る光スイッチング素子の概略構成を表す平面図である。

【図51】図50に示した光スイッチング素子の51-51線に沿った断面図である。

【図52】図50に示した光スイッチング素子の製造工程を説明するための断面図である。

【図53】図51の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図54】図52の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図55】図53の工程に続く工程を説明するための断面図である。

【図56】本発明に係る画像表示装置の一例の構成を表す図である。

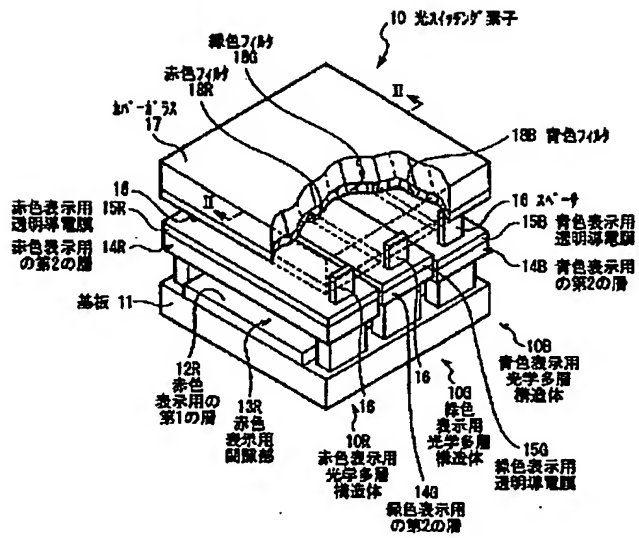
【符号の説明】

10, 80…光スイッチング素子、10R, 80R…赤色表示用光学多層構造体、10G, 80G…緑色表示用光学多層構造体、10B, 80B…青色表示用光学多層構造体、11, 81…基板、12R, 82R…赤色表示用の第1の層、12G, 82G…緑色表示用の第1の層、12B, 82B…青色表示用の第1の層、13R…赤色表示用間隙部、13G…緑色表示用間隙部、13B…青色表示用間隙部、14R…赤色表示用の第2の層、14G…緑色表示用の第2の層、14B…青色表示用の第2の層、15R…赤色表示用透明導電膜、15G…緑色表示用透明導電膜、15B…青色表示用透明導電膜、16…スペーサ、17…カバーガラス、18R…赤色フィルタ、18G…緑色フィルタ、18B…青色フィルタ、21…第1のフォトレジスト層、22…第2のフォトレジスト層、23…第3のフォトレジスト層、31…第1のグレースケールマスク、32…第2のグレースケールマスク、33…第3のグレースケールマスク、81R…第1の凹部、81G…第2の凹部、81B…第3の凹部、100…画像表示装置

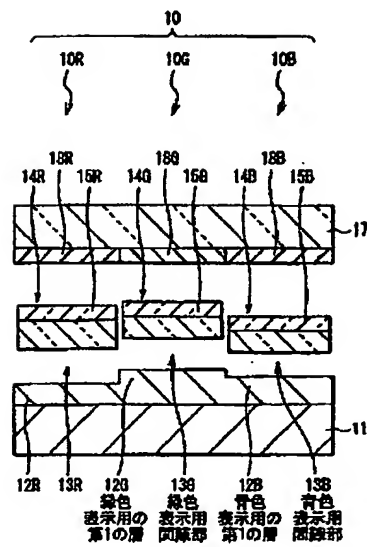
【図4】



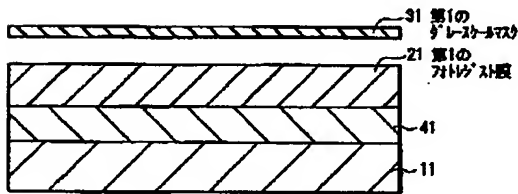
【図1】



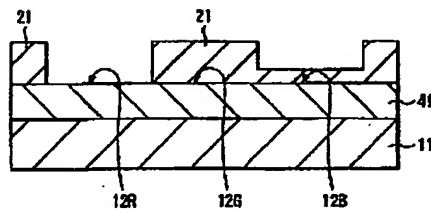
【図2】



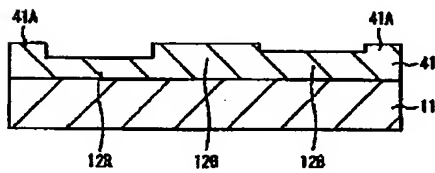
【図5】



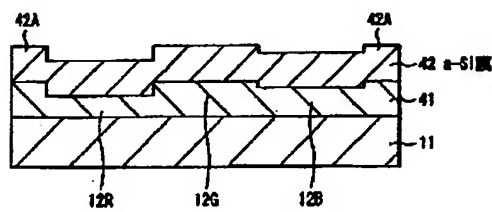
【図6】



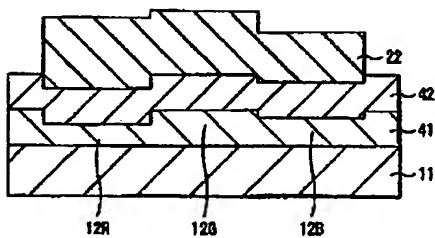
【図7】



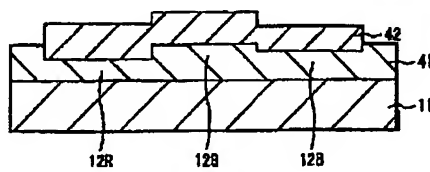
【図8】



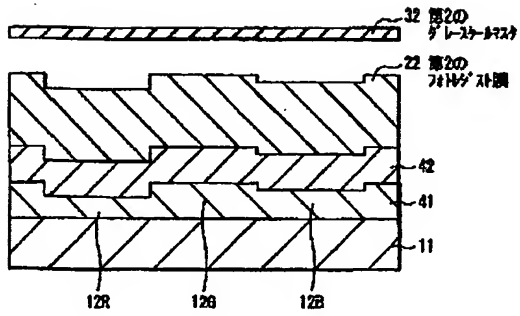
【図10】



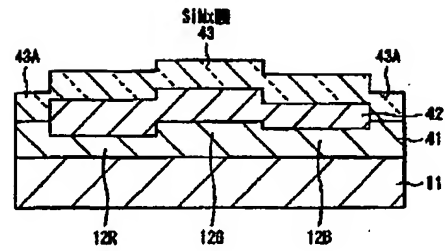
【図11】



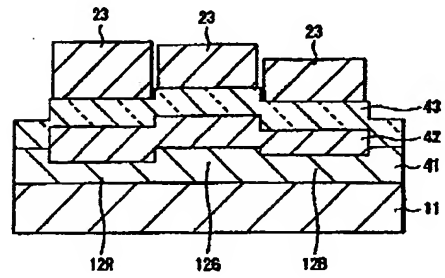
【図9】



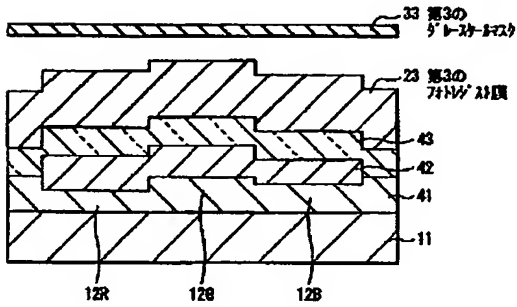
【図12】



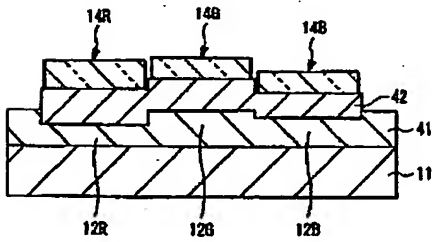
【図14】



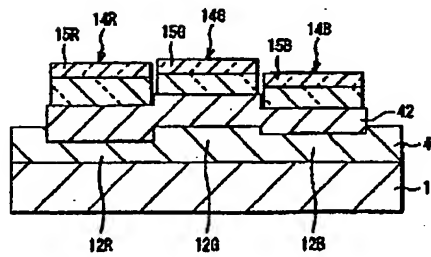
【図13】



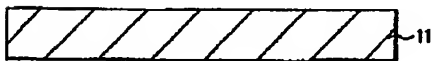
【図15】



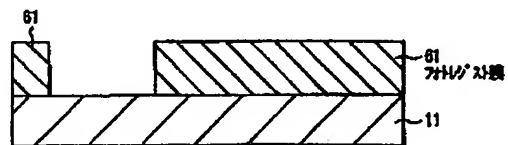
【図16】



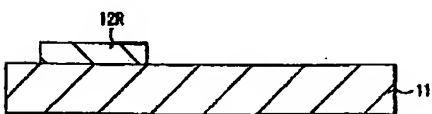
【図22】



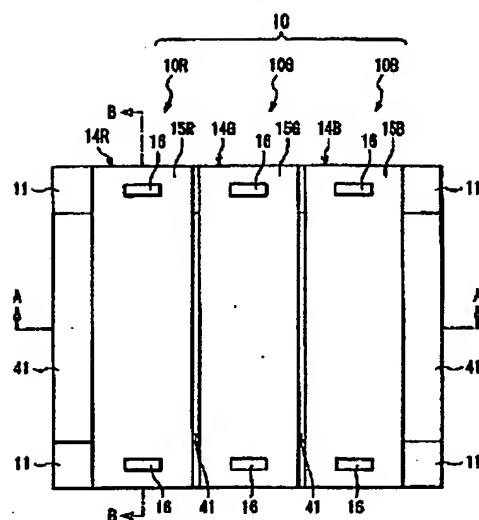
【図23】



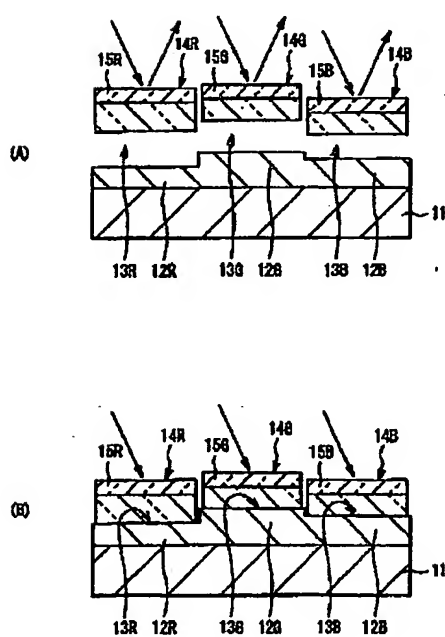
【図25】



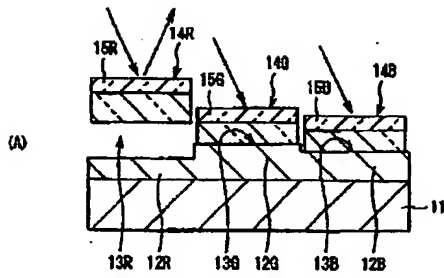
【圖18】



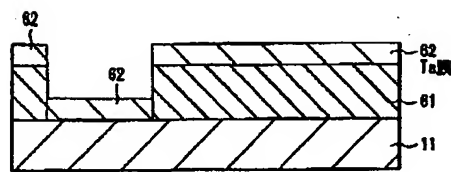
【図20】



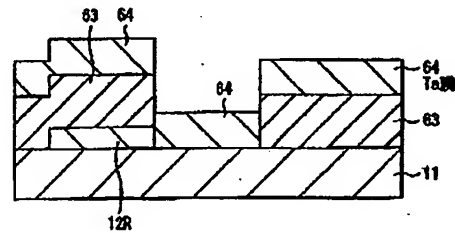
【図21】



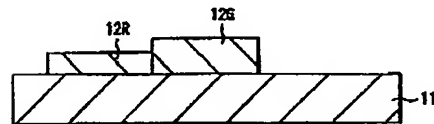
【図24】



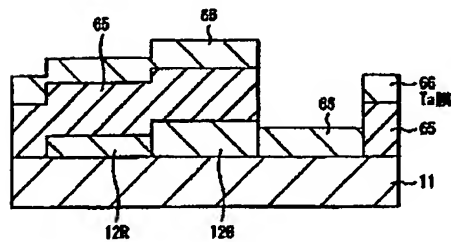
【図27】



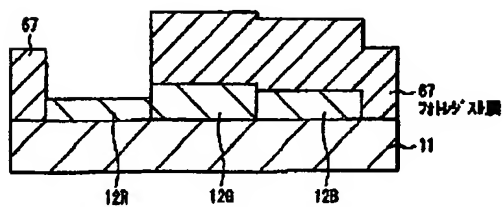
【図28】



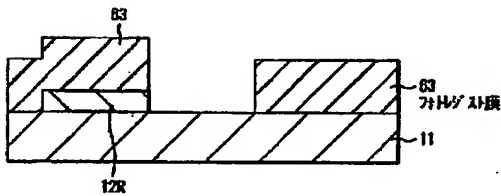
【図30】



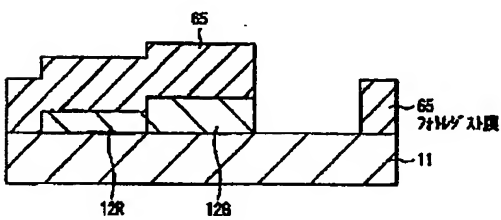
【図32】



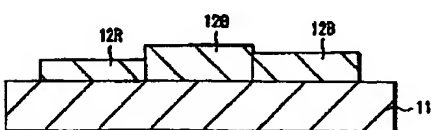
【図26】



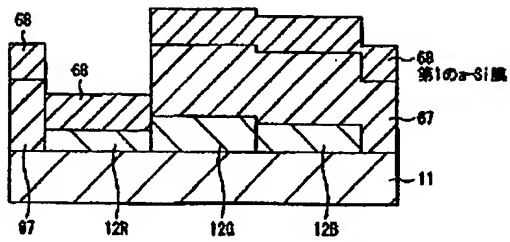
【図29】



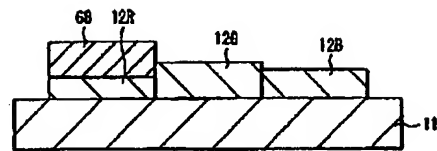
【図31】



【図33】

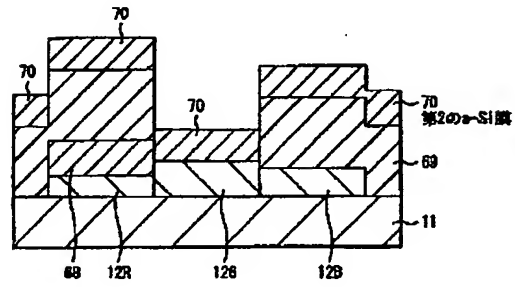
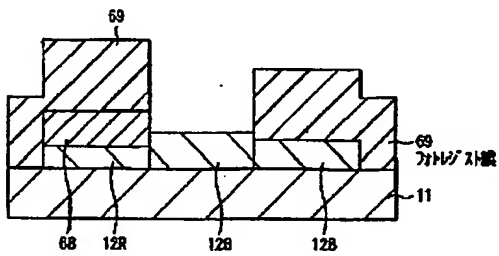


【図34】

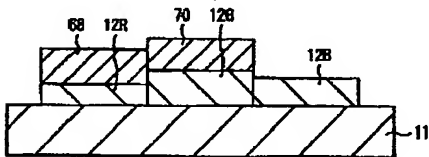


【図36】

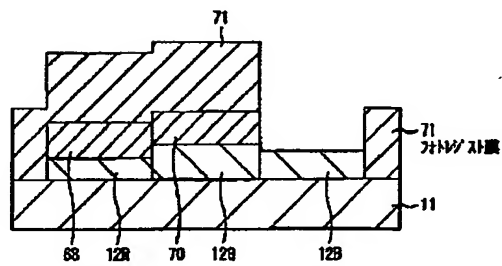
【図35】



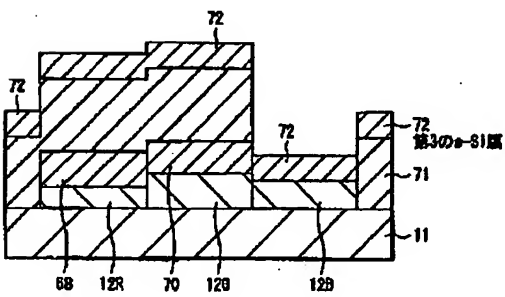
【図37】



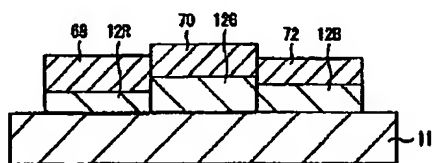
【図38】



【図39】



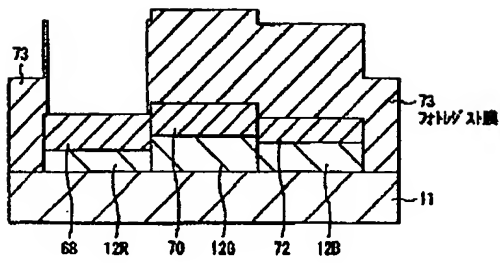
【図40】



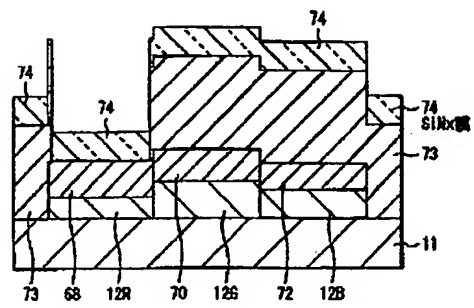
【図52】



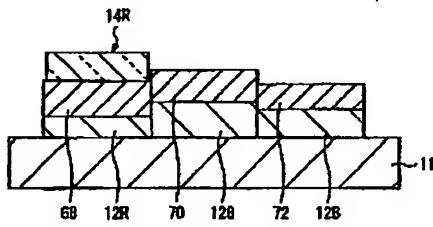
【図41】



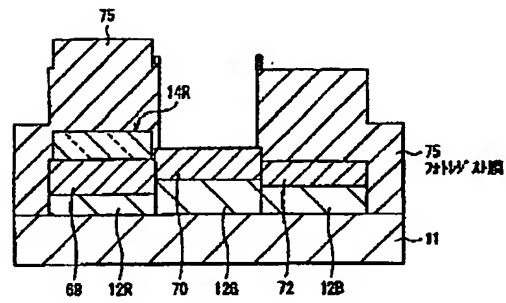
【図42】



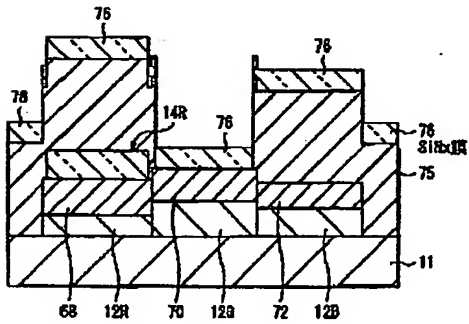
【図43】



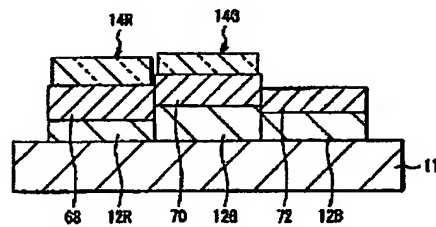
【図44】



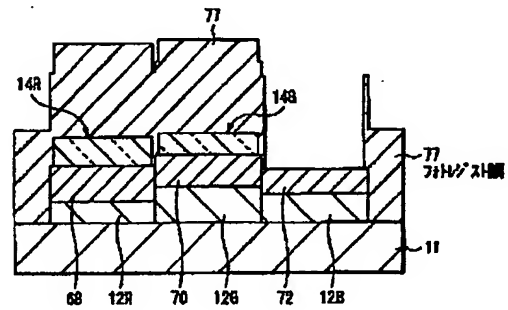
【図45】



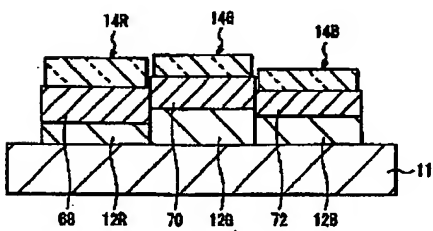
【図46】



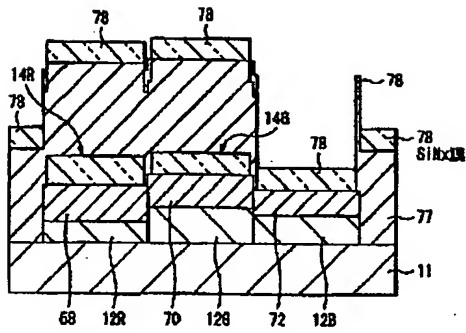
【図47】



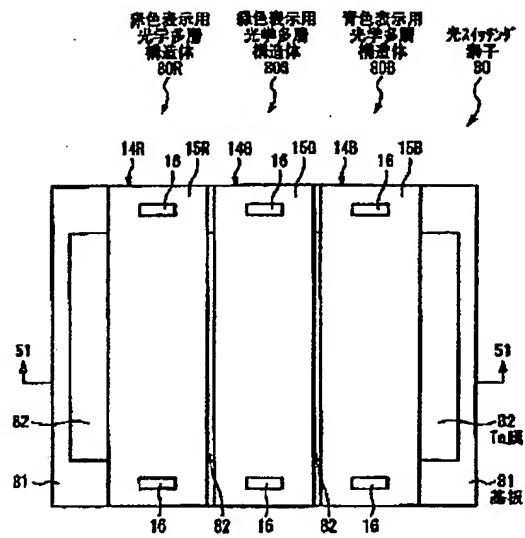
【図49】



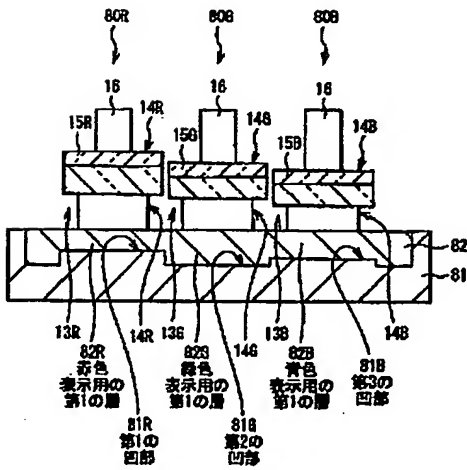
【図48】



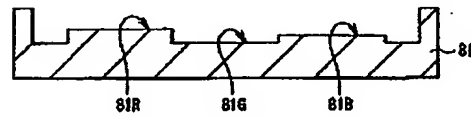
【図50】



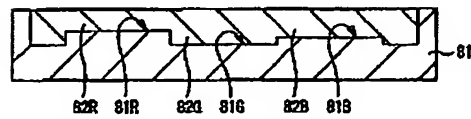
【図51】



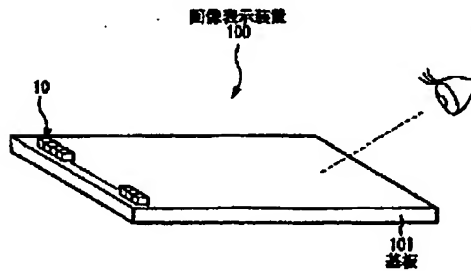
【図53】



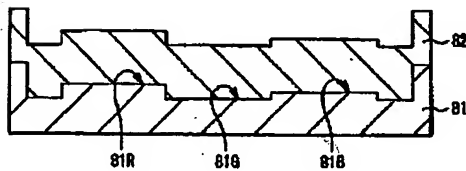
【図55】



【図56】



【図54】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2H041 AA02 AA04 AB14 AC06 AZ02
AZ03 AZ08
2H048 GA01 GA07 GA09 GA12 GA22
GA23 GA25 GA35 GA51 GA57
GA60 GA61

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☐ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.